

UNIVERSIDADE DE LISBOA

INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO



IMPACTES DO *STORM SURGE* EM PORTUGAL CONTINENTAL.

DO CLIPPING DA IMPRENSA REGIONAL AOS DADOS OCEANOGRÁFICOS

ILDA DOS ANJOS RODRIGUES CARVALHO

Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território

2013

UNIVERSIDADE DE LISBOA

INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO



IMPACTES DO *STORM SURGE* EM PORTUGAL CONTINENTAL.

DO CLIPPING DA IMPRENSA REGIONAL AOS DADOS OCEANOGRÁFICOS

ILDA DOS ANJOS RODRIGUES CARVALHO

Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território

Dissertação orientada por

Prof. Doutora Ana Ramos-Pereira

Prof. Doutor Jorge Trindade

2013

À Ana Isabel e ao Pedro.

... Deus disse, então: “Que as águas que estão debaixo do céu se juntem num único lugar e que fique à vista a terra firme”. E assim aconteceu. Deus chamou “terra” à terra firme e chamou “mar” às águas assim reunidas. E achou que tudo aquilo eram coisas boas.

Gn 1, 9.10 (Bíblia Sagrada)

ÍNDICE GERAL

Índice geral

Índice de Figuras

Índice de Quadros

Agradecimentos

Resumo

Abstract

Capítulo 1: Objetivos

Capítulo 2. Enquadramento temático

2.1. *Storm Surge*

2.2. Variações do nível do mar no último século e seus impactes

2.3. Clima de agitação marítima

2.4. Impactos na zona costeira

2.5. O fenómeno no mundo

2.6. Estudo do fenómeno no litoral português

Capítulo 3. Metodologia, técnicas e fontes utilizadas

3.1. Tratamento de dados noticiados

3.2. Os dados do clima de agitação marítima

3.3. Tratamento de dados maregráficos

3.4. Tratamento da informação sinóptica

Capítulo 4. O *storm surge* na imprensa escrita no período de 10/2007 a 12/2010

4.1. Os jornais analisados

4.2. Análise espacial do impacte dos temporais

4.3. Dados da imprensa escrita versus clima de agitação marítima

Capítulo 5. O *storm surge* nas séries maregráficas

5.1. Identificação do fenómeno

5.2. Oscilação do Atlântico Norte

5.3. SNMOM versus imprensa

5.4. Análise e comparação dos resultados

Considerações finais

Referências bibliográficas citadas

Fontes de Recolha de Dados

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Série temporal completa (1882-2008) do nível do mar, no marégrafo de Cascais. Fonte: Antunes e Taborda (2009).

Figura 4.1 – Número de ocorrências de temporais reportadas pela imprensa nacional no período de 01 de outubro 2007 a 31 de dezembro 2010.

Figura 4.2 – Padrão de progressão espacial do temporal ocorrido em Portugal continental no período 17-24/02/2008, reportado pela imprensa nacional.

Figura 4.3 – Padrão de progressão espacial do temporal ocorrido em Portugal continental no período 01-07/02/2009, reportado pela imprensa nacional.

Figura 4.4 – Distribuição temporal dos Eventos ocorridos em Portugal continental, resultantes da pesquisa da imprensa nacional no período de 01 de outubro 2007 a 31 de dezembro 2010.

Figura 4.5 – Fatores condicionantes dos eventos ocorridos em Portugal continental registados pela imprensa nacional no período de 01 de outubro 2007 a 31 de dezembro 2010.

Figura 4.6 – Consequências dos eventos ocorridos em Portugal continental registados pela imprensa nacional no período de 01 de outubro 2007 a 31 de dezembro 2010.

Figura 4.7 – Concelhos Litorais com a localização dos eventos reportados pela imprensa nacional no período de 01 de outubro 2007 a 31 de dezembro 2010.

Figura 4.8 – Localização dos eventos reportados pela imprensa nacional: (I) Eventos erosivos, (II) Galgamentos e (III) Inundações. Período de pesquisa: 01 de outubro 2007 a 31 de dezembro 2010.

Figura 4.9 – Carta superfície às 18 UTC do dia 27 de fevereiro de 2010, reduzida ao nível do mar. Fonte: *www.wetter3.de*.

Figura 4.10 – Carta superfície às 12 UTC do dia 02 de março de 2010, reduzida ao nível do mar. Fonte: *www.wetter3.de*.

Figura 4.11 – Carta superfície às 00 UTC do dia 08 de março de 2010, reduzida ao nível do mar. Fonte: *www.wetter3.de*.

Figura 4.12 – Caraterização do clima de agitação marítima com dados da bóia ondógrafo de Leixões, para o temporal de 22-28/02 e 01-09/03/2010, reportado pela imprensa.

Figura 4.13 – Caraterização do clima de agitação marítima com dados da bóia ondógrafo de Sines, para o temporal de 22-28/02 e 01-09/03/2010, reportado pela imprensa.

Figura 4.14 – Caraterização do clima de agitação marítima com dados da bóia ondógrafo de Faro, para o temporal de 22-28/02 e 01-09/03/2010, reportado pela imprensa.

Figura 4.15 – Carta superfície às 00 UTC do dia 16 de fevereiro de 2010, reduzida ao nível do mar. Fonte: *www.wetter3.de*.

Figura 4.16 – Carta superfície às 00 UTC do dia 19 de fevereiro de 2010, reduzida ao nível do mar. Fonte: *www.wetter3.de*.

Figura 4.17 – Caraterização do clima de agitação marítima com dados da bóia ondógrafo de Leixões, para o temporal de 16-18/02/2010, reportado pela imprensa.

Figura 4.18 – Caraterização do clima de agitação marítima com dados da bóia ondógrafo de Sines, para o temporal de 16-18/02/2010, reportado pela imprensa.

Figura 4.19 – Caraterização do clima de agitação marítima com dados da bóia ondógrafo de Faro, para o temporal de 16-18/02/2010, reportado pela imprensa.

Figura 4.20 – Carta superfície às 00 UTC do dia 23 de dezembro de 2009, reduzida ao nível do mar. Fonte: *www.wetter3.de*.

Figura 4.21 – Caraterização do clima de agitação marítima com dados da bóia ondógrafo de Leixões, para o temporal de 23-24/12/2009, reportado pela imprensa.

Figura 4.22 – Caraterização do clima de agitação marítima com dados da bóia ondógrafo de Faro, para o temporal de 23-24/12/2009, reportado pela imprensa.

Figura 5.1 – Representação gráfica dos níveis de SNMOM e S. significativa, muito significativa, altamente significativa, registadas nas estações maregráficas de V. do Castelo, Leixões, Cascais e Sines no período de outubro de 2007 a dezembro de 2010. Lagos: junho/dezembro de 2009. Índice NAO no período estudado.

Figura 5.2 – Representação gráfica das marés observadas, marés previstas, níveis de SNMOM e S. significativa, muito significativa, altamente significativa, registadas nas estações maregráficas de V. do Castelo, Leixões, Cascais e Sines, nos meses de fevereiro e março de 2010.

Figura 5.3 – Representação gráfica das marés observadas, marés previstas, níveis de SNMOM e S. significativa, muito significativa, altamente significativa, registadas nas estações maregráficas de V. do Castelo, Leixões, Cascais e Sines, no mês de dezembro de 2009.

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Síntese das variações do nível do mar de acordo com alguns estudos.

Quadro 2.2 – Níveis de sobrelevações (S.) significativa, muito significativa e altamente significativa obtidos por Gama (1996) e S. máximas e mínimas, expressas em metros (m), registadas nas estações maregráficas estudadas, no período de maio 1986 a junho 1988. Adaptado de Gama *et al.* (1994a).

Quadro 2.3 – Síntese dos resultados dos níveis máximos atingidos pelo nível do mar (maré + SNMOM) obtidos por Andrade *et al.* (2006) e Gama *et al.* (1994), no cálculo do período de retorno. Adaptado de Andrade *et al.* (2006).

Quadro 3.1 – Exemplo ilustrativo do Quadro dos temporais ocorridos em Portugal continental registados pela imprensa nacional no período de 01 de outubro 2007 a 31 de dezembro 2010.

Quadro 3.2 – Exemplo ilustrativo do Quadro síntese dos temporais reportados pela imprensa nacional por estação do ano, no período de 01 de outubro 2007 a 31 de dezembro 2010.

Quadro 3.3 – Localização geográfica das estações ondógrafo. Fonte: Instituto Hidrográfico.

Quadro 3.4 – Definição dos parâmetros caraterísticos da onda. Fonte: Trindade (2010).

Quadro 3.5 – Número de dias com registos em cada parâmetro da ondulação (H_s , H_{max} , T_z , T_s e T_{max}), nas bóias ondógrafo de Leixões, Sines e Faro, entre 01 de outubro de 2007 e 31 de dezembro de 2010 (1188 dias).

Quadro 3.6 – Localização geográfica dos marégrafos. Fonte: Instituto Hidrográfico.

Quadro 3.7 – Número de registos maregráficos horários tratados para as estações de Viana do Castelo, Leixões, Cascais, Sines e Lagos, no período em estudo.

Quadro 3.8 – Localização geográfica das estações meteorológicas, com o número de identificação (ID). Fonte: Instituto Português do Mar e da Atmosfera.

Quadro 4.1 – Imprensa consultada no período de 01 de outubro 2007 a 31 de dezembro 2010.

Quadro 4.2 – Síntese dos temporais reportados pela imprensa nacional no período de 01 de outubro 2007 a 31 de dezembro 2010. A cor castanha representa as situações que perduraram nos periódicos seis ou mais dias. A cor cinzenta representa os temporais referenciados pela imprensa com duração inferior a seis dias. Em ambos os casos ocorreu erosão costeira.

Quadro 4.3 – Eventos registados na imprensa no período de 01 de outubro 2007 a 31 de dezembro 2010.

Quadro 4.4 – Distribuição dos eventos registados na imprensa, no período de 01 de outubro 2007 a 31 de dezembro 2010.

Quadro 5.1 – Níveis de sobrelevações (S.) significativa, muito significativa, altamente significativa e S. máximas e mínimas, expressas em metros (m), registadas nas estações maregráficas estudadas, no período de outubro de 2007 a dezembro de 2010 (Lagos: junho/dezembro de 2009).

Quadro 5.2 – Valores máximos de SNOM (m) obtidos no inverno marítimo de 2007/2008, para cada estação maregráfica.

Quadro 5.3 – Valores máximos de SNOM (m) obtidos no inverno marítimo de 2008/2009, para cada estação maregráfica.

Quadro 5.4 – Valores máximos de SNOM (m) obtidos no inverno marítimo de 2009/2010, para cada estação maregráfica.

Quadro 5.5 – Valores máximos de SNOM (m) obtidos nos meses de outubro a dezembro de 2010, para cada estação maregráfica.

Quadro 5.6 – Valores máximos de SNOM (m) obtidos nas estações maregráficas e valores mínimos da pressão atmosférica ao nível do mar (hPa) nas estações meteorológicas, no período de 20 de fevereiro a 09 de março de 2010.

Quadro 5.7 – Valores máximos de SNOM (m) obtidos nas estações maregráficas e valores mínimos da pressão atmosférica ao nível do mar (hPa) nas estações meteorológicas, no período de 14 a 18 de fevereiro de 2010.

Quadro 5.8 – Valores máximos de SNOM (m) obtidos nas estações maregráficas e valores mínimos da pressão atmosférica ao nível do mar (hPa) nas estações meteorológicas, no período de 20 a 26 de dezembro de 2009.

Agradecimentos

À Professora Doutora Ana Ramos-Pereira pela confiança depositada em mim. Foi um grande privilégio tê-la como orientadora nesta dissertação. A sua disponibilidade e incentivo permanente, as suas opiniões e conselhos foram cruciais durante todo o processo. Agradeço-lhe a amizade e o conhecimento transmitido.

Ao Professor Doutor Jorge Trindade pela ajuda, esclarecimentos e disponibilidade.

Às instituições que me ajudaram com a disponibilização de dados:

- Instituto Geográfico Português na pessoa da Eng^a Ana Medeiro.
- Instituto Hidrográfico nas pessoas do Tenente Paulo Maia Marques e da Dra. Rita Esteves do Centro de Dados Técnico-Científicos.
- Instituto Português do Mar e da Atmosfera, a que pertença.

À Professora Doutora Alina Esteves pela amizade e disponibilidade.

À Dra. Alice Berto, amiga de longa data, pelo conhecimento transmitido.

Aos meus colegas e amigos do IPMA, Manuela Reyes, Pedro Alves e Bento Sousa d'Almeida toda a amizade e ajuda.

Ao Dr. Pedro Silva do IPMA pela sua disponibilidade.

Agradeço à Cristiana por todos os momentos em que me ouviu, apoiou e auxiliou na realização de algumas tarefas.

O apoio da família foi muito relevante para o meu bem-estar.

Às minhas mães, Emília da Conceição e Maria Elisa, por tudo.

Ao Pedro pelo apoio incondicional e confiança durante esta caminhada.

À Ana Isabel pela ajuda imprescindível e força transmitida.

A todos o meu obrigada!

Resumo

Nos litorais do mundo, todos os anos ocorrem situações graves ligadas a fenómenos extremos, geradoras de recuos rápidos da linha de costa. O *storm surge* é um desses fenómenos.

Os litorais baixos e arenosos são fortemente sensíveis às variações do nível do mar. O *storm surge* é uma das causas dessas variações e pode acarretar efeitos nefastos na faixa litoral, nomeadamente, galgamentos oceânicos, inundações de zonas ribeirinhas, provocando erosão, danificação e/ou destruição de bens materiais, por vezes vidas humanas, entre outros impactos. Torna-se importante aprofundar o conhecimento da ocorrência de sobrelevações do nível do mar de origem meteorológica, para que se possa ordenar e gerir o melhor possível, o território litoral português.

O objetivo geral desta dissertação é o estudo do *storm surge* na costa portuguesa e seus impactes no território no período compreendido entre outubro de 2007 e dezembro de 2010.

Recorreu-se à análise do tratamento de fenómenos extremos, possivelmente associados a *storm surge*, na imprensa nacional e regional, com base na inventariação das ocorrências reportadas (*clipping* de imprensa nacional e regional), no período selecionado. Avaliou-se, a dinâmica espacio-temporal da frequência e da magnitude do fenómeno em Portugal recorrendo-se a dados maregráficos de Viana do Castelo, Leixões, Cascais e Sines, entre outubro de 2007 e dezembro de 2010. Os dados do marégrafo de Lagos apenas foram considerados para o período de junho a dezembro de 2009, por manifesta falta de dados. Fez-se a avaliação dos tipos de circulação atmosférica causadores das ocorrências de maior magnitude, bem como a dos mais frequentes. Analisaram-se as séries de observações registadas pelas estações ondógrafo de Leixões, Sines e Faro, no período, caracterizando-se o clima de agitação marítima.

Com base nos resultados obtidos e comparando-os com outros estudos, conclui-se que este fenómeno foi mais intenso no inverno marítimo de 2009-2010, mostrando uma forte correlação com o índice negativo da NAO. Neste Inverno marítimo, observou-se uma alteração nos padrões de circulação atmosféricos que estiveram na origem de temporais, alguns dos quais associados a fenómenos de *storm surge*.

As situações sinópticas associadas ao fenómeno correspondem a depressões cavadas com trajetórias acima dos 40°N dando origem a temporais de NW (índice positivo da NAO) ou ao enfraquecimento do anticiclone dos Açores, originando um maior número de eventos de SW e W (índice negativo da NAO).

Os registos noticiários referentes a temporais, reportados pela imprensa, coincidiram com as datas de ocorrência do fenómeno estudado, o que permitiu avaliar os danos causados no litoral português, e que foram responsáveis pela destruição de várias infraestruturas na orla costeira.

Palavras-chave: *Storm surge*, subida do nível do mar, agitação marítima, marégrafos.

Abstract

Each year, coastal damages are reported all over the world linked to extreme hydrodynamic phenomena that generate rapid setbacks of the coast line. The storm surge is one of these phenomena.

The low and sandy coasts are strongly sensitive to the variation of sea level and particularly to storm surge. The occurrence of such events induced overwashes, flooding of coastal areas, which cause erosion, damage and/or destruction of property, sometimes human lives, among other impacts. It is important to deepen the knowledge of storm surge occurrence, in order to promote a better coastal zone management, namely in Portugal.

The main goal of this dissertation is the study of storm surge on the Portuguese coast and its impacts in the territory within the period between October 2007 and December 2010.

Analysis of extreme events reported in national and regional press have been performed and organized in a databasis. The national and regional press clipping allow detecting possible storm surge episodes during the selected period. Spatiotemporal dynamics of frequency and magnitude of the phenomenon in Portugal were analyse using the combined data of Viana do Castelo, Leixões, Cascais and Sines, between October 2007 and December 2010. The tide gauge data of Lagos were considered only for the period of June to December 2009, due to lack of data. The different atmospheric circulation over the NE Atlantic temperate latitudes was assessed for the events with greater magnitude, as well as the most frequent. The series of observations recorded by wave buoy Leixões, Sines and Faro in the studied period, allow the characterization of the wave climate.

The results presented here and compared with those of other researchers show that this phenomenon was more intense in 2009-2010 maritime Winter, showing a strong correlation with the negative NAO index. During this maritime Winter, atmospheric circulation patterns had change, and several thunderstorms take place, some of them associated with storm surge phenomena.

The synoptic situations associated with the phenomenon correspond to depressions dug with trajectories above 40° N to NW time (positive NAO Index) or to the weakening of the anticyclone of the Azores, resulting in a greater number of events from SW and W (negative NAO Index).

The records related to temporal news, reported by the press, coincided with the dates of occurrence of the studied phenomena, allowing the evaluation of the damage caused in the Portuguese coast, namely destruction of multiple infrastructures in the coastal area.

Keywords: Storm surge, sea level rise, climate wave, tide gauge

Capítulo 1: Objetivos

Desde os primórdios que o Homem revelou uma grande atração pelo mar, procurando o litoral para se fixar, muitas vezes subestimando os perigos inerentes a tais decisões.

Em diversos litorais do mundo, todos os anos ocorrem situações graves ligadas a fenómenos extremos, geradoras de recuos rápidos da linha de costa. São várias as causas da erosão costeira, mas uma das mais importantes é a ocorrência de temporais. Estes encontram-se frequentemente associados à sobrelevação do nível do mar de origem meteorológica, também designada pela expressão anglo-saxónico *storm surge*, a que acresce a tendência centenária de subida do nível do mar. Estes fenómenos nem sempre são noticiados na imprensa escrita e falada. Tal apenas sucede quando são postas em risco infraestruturas, pessoas e outros bens.

O *storm surge*, de agora em diante denominado SNMOM (de acordo com a designação portuguesa “Sobrelevação do Nível do Mar de Origem Meteorológica”), é um fenómeno físico que durante as últimas décadas tem despertado grande interesse na comunidade científica, nacional e internacional (Dias e Taborda, 1992; Gama *et al.*, 1994; Antunes e Taborda (2009); Philips e Crisp, 2010; Trindade e Ramos-Pereira, 2010; Weisse *et al.*, 2012).

Utilizando técnicas de abordagem cada vez mais inovadoras, estas investigações têm conduzido a resultados positivos ao nível académico, com publicações de artigos científicos e teses, que podem contribuir para uma melhor compreensão do fenómeno e o desenvolvimento de metodologias cada vez mais robustas e aplicáveis ao ordenamento sustentável do território litoral.

A SNMOM está associada a sobrelevações do nível do mar positivas associadas a períodos de tempestade (Pugh, 1987; Carter, 1991). A sobrelevação do nível do mar pode ser o resultado da conjugação de processos físicos atmosféricos individuais ou combinados. A pressão atmosférica e ventos fortes e prolongados, associados a perturbações meteorológicas ativas, são as principais causas de SNMOM nas nossas latitudes. Porém, a evaporação/precipitação sobre a superfície do oceano, o aquecimento/arrefecimento do mesmo, a ressonância de ondas de longo período e a acumulação de água junto à faixa costeira derivada de ondas de curto período são também responsáveis pela variação momentânea do nível do mar,

contudo produzem um efeito menor (Carvalho, 1999; Ramos-Pereira, 2008). Qualquer que seja a origem, a SNMOM é um fenómeno pontual e aperiódico.

Em Portugal continental, à SNMOM estão sempre associados temporais, mas nem sempre um temporal origina este fenómeno (Gama *et al.*, 1994). Ainda segundo Gama *et al.* (1994), ocorre um temporal na costa ocidental de Portugal continental quando a altura significativa da onda (H_s) é igual ou superior a 5m. Na costa sul este valor passa para 3m. Ambos os valores avançados pelos autores são idênticos aos encontrados por Costa *et al.* (1994), num estudo sobre a caracterização das condições extremas na costa de Portugal continental, com base nas séries de agitação marítima das estações direcionais da Figueira da Foz, Sines e Faro, no período de 1980-1994.

À escala global e local, o estudo da SNMOM é relevante a nível ambiental, social e económico. Sendo Portugal um país com muitos quilómetros de costa, densamente povoada e onde se desenvolvem muitas atividades económicas, o problema da erosão costeira é sem dúvida um tema relevante.

A importância da SNMOM na dinâmica litoral atual é reconhecida, nomeadamente, na aceleração do recuo da linha de costa, nas inundações de zonas ribeirinhas, galgamentos de sistemas de praia e praia-duna, maior penetração da cunha salina nos estuários, salinização de aquíferos. A erosão que provoca na costa conduziu à construção de obras pesadas de engenharia costeira em vários locais do litoral de Portugal Continental assim como a reposição de areias em vários troços do litoral, com vista a minimizar os seus efeitos.,.

No quadro social e económico, a SNMOM assume uma importância relevante na medida em que é responsável por situações graves que induzem, no limite, a perdas de vidas humanas e de bens materiais tanto no território litoral, como nos ecossistemas e infraestruturas. Assim sendo, todos os contributos são poucos para aumentar o conhecimento que apoie o ordenamento e gestão do litoral e esta foi a razão da escolha do tema a desenvolver, cujo *objetivo geral é o estudo do storm surge na costa portuguesa e seus impactes no território no período compreendido entre outubro de 2007 e dezembro de 2010.*

Para alcançar o objetivo geral e avaliar a sua importância social, definiram-se três objetivos específicos. Constitui *primeiro objetivo específico a análise do fenómeno na imprensa*

nacional e regional com base na inventariação das ocorrências reportadas (clipping de imprensa nacional e regional), no período selecionado.

Pretende-se também *avaliar a dinâmica espaço-temporal da frequência e da magnitude do fenómeno em Portugal continental*. Para alcançar este *segundo objetivo específico* recorre-se a dados maregráficos de Viana do Castelo, Leixões, Cascais, Sines e de Lagos, entre outubro de 2007 e dezembro de 2010.

O *terceiro objetivo específico* consiste na *avaliação dos tipos de circulação atmosférica* causadores dos fenómenos de maior magnitude, bem como dos mais frequentes.

Finalmente comparam-se os dados obtidos através das diferentes fontes documentais, estatísticas e bibliográficas.

Capítulo 2: Enquadramento temático

2.1. Storm Surge

No estudo do mecanismo que origina SNMOM, Viles e Spencer (1995) estimaram que a descida da pressão barométrica origina uma consequente subida do nível do mar a uma taxa de 1cm/hPa. É de referir que o nível da água não se ajusta imediatamente às variações da pressão atmosférica e não é pontual, respondendo à variação da pressão média numa área considerável à volta do ponto central. Normalmente, associada a depressões e/ou sistemas depressionários, a SNMOM é tanto mais significativa quanto mais cavada for a depressão, podendo ter impactes devastadores em litorais baixos e arenosos, sobretudo como consequência dos galgamentos oceânicos (Krestenitis *et al.*, 2010).

A SNMOM pode avaliar-se comparando o nível do mar observado e o nível do mar previsto. Importa precisar que o nível do mar observado corresponde ao nível do mar registado por um marégrafo, enquanto o nível previsto é definido, para um dado porto por exemplo, através do cálculo das constantes harmónicas de séries de observações maregráficas, com uma duração variável, normalmente de períodos de observações de pelo menos um ano.

É essencial referir que os desvios entre a altura das marés observadas e a altura das marés previstas ultrapassa frequentemente os 0,1m, causados pela conjugação de efeitos meteorológicos e subida do nível do mar que não são considerados no modelo de previsão das marés.

Assim, o nível do mar (η na eq. 1) é diferente do que ocorreria caso apenas acontecesse uma maré com força astronómica (η_{astro}), originando uma sobrelevação do nível do mar (η_s),

$$\eta_s = \eta - \eta_{\text{astro}} \quad \text{eq. 1}$$

Quaisquer umas destas componentes variam espacialmente e/ou temporalmente, no entanto, quando referidas a um local fixo como um marégrafo, as funções são contínuas no tempo (eq. 2, 3 e 4):

$$\eta_{\text{astro}} = \eta_{\text{astro}}^{(t)} \quad \text{eq. 2}$$

$$\eta = \eta^{(t)} \quad \text{eq. 3}$$

$$\eta_s = \eta_s^{(t)} \quad \text{eq. 4}$$

Estas podem assim ser analisadas como séries cronológicas.

Como se verificou, a variação do nível do mar de origem meteorológica pode ser positiva ou negativa. No primeiro caso ocorre uma sobrelevação, com resíduos de maré são positivos. No caso da subelevação do nível do mar, os resíduos são negativos, estando normalmente associada a situações de altas pressões.

Uma subelevação do nível do mar em baixa-mar, numa zona de águas pouco profundas origina perigosidade para o tráfego marítimo de grande porte. No entanto, se ocorrer uma sobrelevação do nível do mar simultaneamente com uma preia-mar, os impactos podem ser de grande magnitude, ocorrendo inundações e galgamentos nas zonas ribeirinhas (Carvalho, 1999), que geralmente acompanham o fenómeno erosivo.

A mesma tempestade pode gerar sobrelevação e subelevação do nível do mar em diferentes fases da sua progressão (Pugh, 1987). Estes fenómenos ocorrem sobretudo durante o inverno marítimo.

O cálculo da SNMOM recorre a dois tipos de referenciais de alturas do nível do mar. O nível do mar observado corresponde ao nível do mar registado por um marégrafo, enquanto o nível previsto (η_{astro}) é modelado, para um ponto no litoral. Esta modelação de valores recorre ao cálculo das constantes harmónicas de séries de observações maregráficas, com uma duração variável mas normalmente de períodos de observações de pelo menos um ano.

É essencial referir que os desvios entre a altura das marés observadas e a altura das marés previstas ultrapassa frequentemente os 0,1m. Este diferencial ocorre pela conjugação de efeitos meteorológicos e subida do nível do mar que não são considerados no modelo de previsão das marés.

A SNMOM é um fenómeno de curta duração, mas é apenas um fenómeno que atua cumulativamente, nomeadamente dependente da altura significativa das ondas, e tem impactos no litoral. Assim, quando se analisam os perigos, no litoral, associados à hidrodinâmica marinha, à SNMOM deve acrescentar-se a variação centenária do nível do mar e o clima de agitação marítima (marés e ondulação).

É tida como certa a subida do nível médio do mar e dado que o plano do Zero Hidrográfico (ZH) foi fixado em relação a níveis médios do mar adotados há décadas (1938 em Cascais), a diferença entre as marés observadas e as marés previstas é de cerca de 0,152m (Antunes e Taborda, 2009).

Como se deduz do exposto, a maré resulta de fatores astronómicos, designadamente, das componentes lunares e solares, enquanto a sobrelevação do nível do mar é determinada por fatores atmosféricos e oceanográficos ou, por outras palavras, resultado da interação oceano-atmosfera (Gama *et al.*, 1994). Meyers (1970), Pugh e Vassie, (1979), Coles e Tawn, (1990) e Tsimplis e Blackman, (1997) têm reconhecido a importância de separar a componente astronómica de maré que é determinística, da componente meteorológica que é estocástica.

2.2. Variações do nível do mar no último século e seus impactes

A escala de análise utilizada neste estudo visa apenas uma sequência de 3 anos e 3 meses, enquadrados na subida centenária do nível do mar, induzido pela expansão térmica oceânica.

No litoral português, de acordo com a série maregráfica de Cascais, a subida do nível do mar no século passado foi de $1,7\text{mm}\pm 0,2/\text{ano}$ (quadro 2.1, Dias e Taborda, 1992). Importa referir que, no marégrafo de Cascais, o plano do Zero Hidrográfico (ZH) foi fixado em relação a níveis médios do mar adotados em 1938.

Quadro 2.1 – Síntese das variações do nível do mar de acordo com alguns estudos.

Autor	Período de dados	Subperíodos→subida n.m.
Dias e Taborda (1992)	1920 - 1987	$1,7\text{mm}\pm 0,2/\text{ano}$
Douglas e Peltier (2002)	1930 - 2000	$1,84\text{mm}/\text{ano}$
Church e White (2006)	01/1870 - 12/2004	$1,44\text{mm}/\text{ano}$
		1950-2000 → $1,75\text{mm}/\text{ano}$
IPCC (2007)	1961 - 2003	$1,8\text{mm}\pm 0,5/\text{ano}$
		1993-2003 → $3,1\text{mm}\pm 0,7/\text{ano}$
Andrade <i>et al.</i> (2008)	1880 - 2000	1990-1999 → $2,2\text{mm}/\text{ano}$
		2000-2008 → $2,9\pm 0,4/\text{ano}$
Antunes e Taborda (2009)	1882 - 2008	1900-2000 → $1,9\text{mm}/\text{ano}$
		1920-1960 → $3,0\text{mm}/\text{ano}$
		1990-2008 → $2,1\text{mm}/\text{ano}$
Antunes (2010)	2000 - 2009	$2,6\text{mm}\pm 0,3/\text{ano}$

Church e White, (2006), com base em dados mareográficos, não especificados pelos autores, e por estimativas a partir das imagens do satélite TOPEX/Poseidon (T/P) e Jason-1, que

realizam medições do nível do mar entre os 66° N e os 66° S, observaram uma subida do nível médio do mar de 1,44mm/ano entre janeiro de 1870 e dezembro de 2004. Dados do mesmo estudo referentes ao último século apontam para uma subida de 1,7mm/ano, com um grau de confiança de 95%, sendo que nos últimos 50 anos do século XX a tendência de subida foi de 1,75mm/ano (quadro 2.1).

Este resultado foi também o apresentado pelo Instituto Hidrográfico (IH), que, utilizando análises sistemáticas a séries longas de observações maregráficas em diversos locais ao longo do Globo, afirma que o nível médio do mar sobe a um ritmo de de 1,75mm/ano. Os resultados obtidos por estes autores estão em consonância com os obtidos pelo Painel Intergovernamental das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (IPCC, 2007) que sugere uma elevação do nível médio do mar entre 1,5 e 2mm/ano (quadro 2.1).

Andrade *et al.* (2008) indicam uma tendência de subida do nível do mar de 2,2mm/ano para a década de 90 e uma taxa de subida do nível do mar de $2,9\text{mm} \pm 0,4/\text{ano}$, no período de 2000 a 2008 (quadro 2.1).

Antunes e Taborda (2009) calcularam uma subida de nível do mar de 1,9mm/ano, no período entre 1920 e 2000 e concluíram que os dados obtidos através do marégrafo de Cascais, registam duas tendências, separadas pela década de 1920 do século passado.

A figura 2.1 mostra-nos que, até 1920, o nível do mar se manteve estável e, a partir desta década, verifica-se uma tendência nítida da subida do nível do mar. Esta subida deve-se, provavelmente, à expansão térmica do oceano, causada pelo aumento da temperatura das águas e, consequente, aumento do volume da água do Atlântico Norte (Dias, 2005). Antunes e Taborda (2009) concluíram, ainda, que nos 80 anos estudados se observaram dois padrões: nas duas últimas décadas observa-se uma subida do nível do mar de 2,1mm/ano, enquanto entre a 1920 e 1960, a elevação do nível médio do mar foi de 3mm/ ano (quadro 2.1).

Segundo os mesmos autores, este valor foi idêntico ao obtido por Douglas e Peltier (2002), que estimaram uma elevação de 1,84mm/ano, numa série temporal de 70 anos, baseado em estimativas a partir das imagens dos satélites TOPEX/Poseidon e GRACE e em estudos de estações maregráficas europeias e americanas. Douglas e Peltier (2002), referem estes registos como sendo longos e fiáveis.

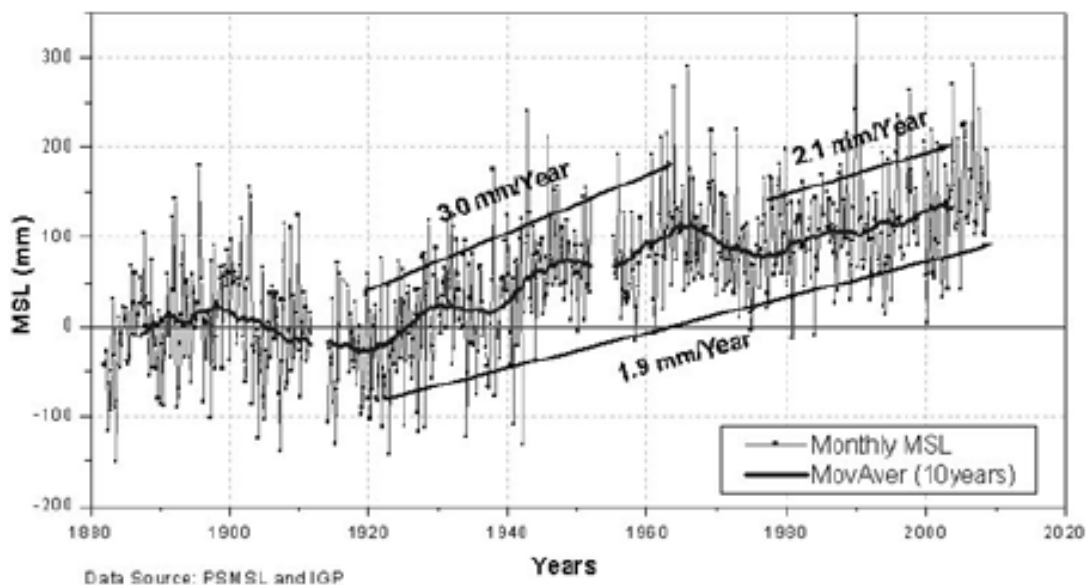


Figura 2.1 – Série temporal completa (1882-2008) do nível do mar, no marégrafo de Cascais. Fonte: Antunes e Taborda (2009).

Estudos mais aprofundados têm vindo a ser realizados por Antunes (2010) que apontam para uma subida do nível do mar, entre 2000 e 2009, de 2,6mm/ano, com uma taxa de incerteza de $\pm 0,3\text{mm/ano}$ (quadro 2.1).

O quadro 2.1 apresenta o resumo dos resultados obtidos pelos vários autores em datas distintas.

Os valores da tendência de subida do nível médio do mar em Portugal continental estão em consonância com os obtidos, a nível regional. A nível global o comportamento é muito diverso.

2.3. Clima de agitação marítima

No litoral português dominam as marés semidiurnas com amplitudes médias de águas vivas de cerca de 3m, sendo, por isso, um litoral mesomareal.

A ondulação longínqua gerada no varrido origina diferentes tipos de mar, consoante a posição dos aparelhos isobáricos (Ramos-Pereira, 2008). A costa oeste de Portugal continental, da foz do rio Minho ao Cabo de São Vicente, apresenta um regime de agitação marítima de alta energia, afetada pela ondulação gerada no Atlântico Norte, sendo que esta

decrece com a latitude. Esta fachada é uma das mais ativas e suscetíveis da Europa (Andrade *et al.*, 2006). A costa sul, do Cabo de Sagres à foz do rio Guadiana, apresenta um regime de agitação marítima menos energética durante a maior parte do ano quando comparada com a anterior. Encontra-se abrigada da agitação marítima dominante de Norte e Noroeste (Pires, 1989; Andrade *et al.*, 2006), predominante na costa oeste (Costa *et al.*, 1994). Segundo Pires (1989), citado por Ramos-Pereira (2008), a costa ocidental tem cinco tipos de mar, enquanto a costa sul tem quatro tipos de mar. O caso de estudo abrange a costa de Portugal Continental, como tal incidir-se-á sobre os tipos de mar que nesta costa podem originar SNMOM.

Segundo Andrade *et al.* (2006), atendendo ao clima de agitação marítima, no litoral ocidental são nos mares de Noroeste, Oeste e Sudoeste que mais podem ocorrer fenómenos de SNMOM. No litoral norte, onde se inserem Viana do Castelo e Leixões, são os mares de Noroeste e Oeste que mais potenciam este fenómeno.

O Mar de Noroeste que ocorre, em média, em cerca de 280 dias no ano, é o tipo de mar mais frequente na costa ocidental do continente, caracterizando-se por uma ondulação que se propaga de noroeste para sudeste (Pires, 1989; Costa *et al.*, 1994, Ramos-Pereira, 2001 Esteves *et al.*, 2010). Este tipo de mar pode gerar-se em diversas situações sinópticas, como exemplifica Ramos-Pereira, 2001:

- Ser gerado no bordo oriental de uma célula anticiclónica situada sobre o oceano a noroeste de Portugal com uma depressão sobre a Península;
- Ser ocasionado por uma circulação de noroeste pós-frontal ou por uma situação depressionária.

De acordo com Pires (1989), a altura significativa das ondas pode atingir 2,5 metros, com períodos de 9 segundos, a norte do Cabo Raso e 2 metros, com períodos de 8 segundos, a sul do Cabo Espichel.

O Mar de Oeste ou Temporal de Oeste caracteriza-se por uma circulação depressionária ao largo da costa portuguesa, à latitude dos 40° N (Ramos-Pereira, 2008; Esteves *et al.*, 2010). A altura significativa das ondas pode variar entre 5 e 8 metros persistindo raramente por mais de 2 dias. A altura significativa das ondas pode atingir 8 metros na costa norte e 7 metros a sul, com períodos de 16 segundos, (Pires, 1989).

Tendo em consideração o posicionamento do marégrafo de Cascais, pode afirmar-se que os mares de Noroeste e Oeste pouca influência têm na região de Cascais, pois esta está abrigada da agitação marítima e dos ventos de Noroeste e Oeste, ficando assim, salvaguardada das maiores tempestades que ocorrem no litoral ocidental português.

O Mar de Sudoeste, o que maior importância apresenta para Cascais, está associado a depressões quase estacionárias centradas a Sudoeste da Península Ibérica ou passagem sucessivas de sistemas frontais com trajetória SW-NE, (Ramos-Pereira, 2008). Normalmente são situações mais persistentes, podendo durar alguns dias. Este tipo de mar ocorre principalmente no Inverno e em períodos de transição, sendo pouco frequente no verão. A altura significativa das ondas pode atingir 3 a 4 metros, com períodos de 9 e 10 segundos. Quando ocorre aproximação de superfícies frontais associadas a depressões muito cavadas, as ondas podem atingir 7 metros de altura significativa, de acordo com Pires (1989).

Sines com uma localização mais meridional na costa ocidental encontra-se mais exposta aos mares de Oeste e Sudoeste.

No litoral meridional, o Mar de Levante, Mar de Sudeste, ou ainda Sueste está associado à ocorrência dos ventos de Leste (Pires, 1989; Ramos-Pereira e Trindade, 2011).

O Mar de Sudoeste está associado às situações meteorológicas do Atlântico que originam Mar de Sudoeste ou Mar de Oeste na costa ocidental (Pires, 1989; Costa *et al.*, 1994; Ramos-Pereira, 2008), responsáveis pelos maiores temporais no barlavento algarvio. A altura significativa das ondas pode exceder 2 a 3 metros, com períodos de 7 e 8 segundos.

A ocorrência do mar de Levante, em termos da circulação geral da atmosfera, associa-se à localização do Anticiclone dos Açores associado a uma depressão cavada a SSW da Península Ibérica, o que origina ventos de leste em todo o litoral algarvio (Ramos-Pereira e Trindade, 2011). A altura significativa das ondas pode exceder 2 metros com 6 segundos de período quando o vento de SE, proveniente do Estreito de Gibraltar, é por vezes muito forte (Pires, 1989). Contudo, Ramos-Pereira e Trindade (2011), num caso de estudo sobre a ocorrência de um fenómeno extremo de Levante, em 23/02/2008, referenciam ondas com altura significativa superior a 4m e altura máxima superior a 8m.

2.4. Impactos na zona costeira

Durante e após a ocorrência de SNMOM, a importância do fenómeno é amplificada nos setores litorais de baixa altitude e fraca inclinação, colocando pessoas e bens em risco. Os impactos podem ser diversos, dependendo da duração e magnitude do fenómeno, afetando especialmente os litorais baixos e com fraco declive e exigindo resposta dos meios de socorro face à situação que o fenómeno pode causar. Justifica-se, assim, o conhecimento das variações do nível do mar e da suscetibilidade à ocorrência de SNMOM para uma melhor gestão e ordenamento da faixa litoral.

A SNMOM é, essencialmente, um fenómeno costeiro, porém pode ocorrer em mar alto. Segundo Dias e Taborda (1992), os danos que uma SNMOM pode causar na faixa costeira dependem da fase de maré em que o fenómeno ocorre. É evidente que, uma SNMOM que ocorra em maré vazia tem uma perigosidade bastante menor, como já foi referido, do que outra que se verifique durante a maré cheia. Quando se verifica coincidência entre uma SNMOM, uma maré cheia equinocial e um grande temporal, os riscos no litoral podem aumentar extraordinariamente.

Uma sobrelevação deste tipo em preia-mar pode gerar impactos drásticos.

A SNMOM é responsável pela erosão de praias e dunas (Gama, 1996; Ferreira, 1999; Ramos-Pereira, 2004), por galgamentos oceânicos que provocam avultados danos nas áreas costeiras, nomeadamente a destruição de defesas naturais e antrópicas do litoral, danificação e/ou destruição de bens e culturas aí existentes (Feio, 1980; Taborda e Dias, 1992; Dias *et al.*, 1994; Krestinitis *et al.*, 2010), pela aceleração de recuos das arribas, pela penetração da cunha salina nos aquíferos e a ampliação de intrusões salinas nos estuários (Dias *et al.*, 1994), como já foi referido.

Os impactos socioeconómicos da SNMOM podem, por isso, ser muito relevantes. A nível económico, o sector das pescas pode ser gravemente afetado, pois algumas “espécies piscícolas são muito sensíveis a pequenas variações, entre outras, da temperatura, da salinidade, da turbidez da água e do tipo de fundo” (Dias *et al.*, 1994), para não falar da destruição de estruturas construídas quer ligadas à pesca quer ao turismo e lazer. A nível social, a destruição de património construído através de inundações nas áreas ribeirinhas,

provocando o desalojamento de populações e perdas de vida humana (Krestinitis *et al.*, 2010) são as mais graves consequências deste fenómeno.

Cite-se a título exemplificativo as situações que ocorreram no litoral norte da Baía de Bengala, em 1985, em que morreram 20000 pessoas e na Holanda, onde pereceram 1800 pessoas, devido às inundações causadas pela SNMOM (Pugh, 1987).

A nível global, a SNMOM pode considerar-se um fenómeno extremo que ameaça a subsistência de milhões de pessoas.

2.5. O fenómeno no mundo

Da recolha bibliográfica efetuada constatou-se que as sobrelevações do nível do mar de origem meteorológica atingem valores mais elevados nas fachadas orientais dos continentes, como seria de prever tendo em conta que se trata de um fenómeno resultante da interação oceano-atmosfera.

Segundo Andrade *et al.* (2006), na fachada Este do Reino Unido e na fachada Oeste de países como a Bélgica, Holanda e Dinamarca a sobrelevação do nível do mar excedeu 3,3m. Enquanto na costa Leste dos Estados Unidos da América, nas planícies costeiras e nos deltas da Indochina e no golfo de Bengala as sobrelevações estão, frequentemente, compreendidas entre os 1 e 5 metros de altura, provocando catástrofes como a ocorrida no Bangladesh em 1973, cuja estimativa aponta para 300000 mortos.

São muitos os estudos sobre SNMOM e suas consequências a nível do globo. Citar-se-ão apenas alguns que espelham o conhecimento do fenómeno em diversos locais do globo, com causas simples ou mistas, em fachadas expostas ou onde o fenómeno é pouco frequente, mas nem por isso menos devastador, mostrando a sua relevância.

Reimnitz e Maurer (1979) estudaram os efeitos que a SNMOM ocorrida no Outono de 1970 produziu no Ártico. Neste caso, os ventos fortes de Oeste foram responsáveis pela subida do nível do mar, ocasionando inundações que permitiram a intrusão salina no delta de Colville, afetando uma área que se estendeu 5km para o interior da linha de costa. A sobrelevação variou entre 1,5 e 3,4 metros ao longo da linha de costa do Mar de Beaufort. Este evento provocou avultados danos com destruição de embarcações, de vias rodoviárias, de

habitações e de ecossistemas, uma extensa área foi erodida e todas as ilhas barreira foram submersas.

Ebersole *et al.* (2010) modelaram a SNMOM gerada pelo furacão Katrina, ocorrido no polder St. Bernard. A SNMOM esteve compreendida entre 1,5 e 2,3m e gerou-se a Este desse polder. Contudo, foram observadas sobrelevações máximas de 4,4 e 4,8m. No lago de Borgne, aberto ao Golfo do México, a SNMOM foi perpendicular aos ventos dominantes (Este) e paralelo ao alinhamento do dique que individualizava a lagoa do mar aberto. Este fenómeno originou o galgamento do dique e, consequentemente, a sua rutura.

Sheng *et al.* (2010) simularam através do modelo CH3D (*Curvilinear-grid Hydrodynamics in 3D*) a passagem do furacão Ivan, em 2004, que originou SNMOM e inundações costeiras, no Nordeste do Golfo do México. As sobrelevações foram obtidas através dos modelos SWAN, ADCIRC (*Advanced CIRCulation*) e WW3 (*WaveWatch-III*). A sobrelevação do nível do mar ao longo do litoral variou entre 2 a 3m, sendo que o seu pico atingiu 3,5m na Baía de Pensacola/Escambia.

Fritz *et al.* (2010) modelaram a SNMOM ocorrida em Omã, através do *Advanced Circulation Model* (ADCIRC). Esta sobrelevação do nível do mar originou-se devido à passagem do ciclone Gonu, desenvolvido numa zona de convecção no leste do Mar Árábico, em Junho de 2007. Este fenómeno destrutivo é bastante raro neste mar, pois as tempestades costumam ser pequenas, dissipando-se rapidamente. A SNMOM resultou, ainda, do escoamento dos cursos de água das montanhas litorais de Omã e Irão. Os autores compararam os danos causados por este fenómeno com os do *tsunami* de 2004, sendo os impactos bastante similares no sul de Omã. Foram observados colapsos de infraestruturas, nomeadamente, de pontes e edifícios, bem como o galgamento de praias. A simulação do ciclone Gonu foi efetuada através do modelo ADCIRC, sendo necessário adquirir os dados referentes ao vento a partir do JTWC *Automated Tropical Cyclone Forecasting*. A modelação mostra resultados similares entre o pico do ciclone Gonu e a máxima sobrelevação observada. As marcas da altura do mar chegaram aos 5m em Ras al- Hadd.

Krestenitis *et al.* (2010) estudaram as inundações provocadas pelas sobrelevações do nível do mar de origem meteorológica, no litoral Nordeste do Mediterrâneo (mares Adriático, Egeu e Levante), no período compreendido entre 2000 e 2004. Segundo os autores a

SNMOM ocorre quando o vento dominante é de Sudoeste, sendo as áreas mais afetadas o leste e o nordeste do Mediterrâneo. A área em estudo apresenta amplitudes de maré pequenas, contudo por ser uma costa baixa (certas zonas estão mesmo abaixo do nível médio do mar), pequenas variações no nível do mar são catastróficas, pois a área em estudo é densamente povoada.

Para Veneza, os autores anteriormente referidos calcularam um potencial de inundação de 6300 km² e para o litoral albanês de 1600 km², obtiveram, ainda, áreas potenciais de inundação entre 200 e 800 km² para o delta do rio Neretva (Croácia), golfo de Patraikos, baía de Kavala, Tessalonica e Alexandroupolis (Grécia) e delta de Seyhan (Turquia). A sobrelevação máxima do nível do mar de origem meteorológica ocorrida na laguna de Veneza foi de 1,9m, em Novembro de 1966, sendo que na modelação efetuada neste estudo, os autores obtiveram uma sobrelevação de 0,4m no período compreendido entre 2000 e 2004. Na laguna de Veneza, a SNMOM ocorre, normalmente, entre Outubro e Janeiro. No norte do Mar Adriático, as SNMOM são maiores do que no restante Mediterrâneo, devido aos ventos *Sirocco* e à baixa pressão atmosférica no norte do Mar Mediterrâneo. A partir de modelação, os autores concluíram que a maioria das SNMOM ocorridas no Mediterrâneo devem ser consideradas significativas a partir dos 30cm, enquanto sobrelevações de 60 cm são mais raras. No norte do Mar Adriático e na região Norte de Levante (sul da Turquia) registaram-se as maiores sobrelevações. No mar Egeu observaram-se os valores mais baixos de sobrelevação, devido às numerosas ilhas existentes e às estreitas passagens que funcionam como um fator restritivo à passagem dos ventos.

Lionello *et al.* (2010) estudaram as SNMOM ocorridas no norte do Mar Adriático. Localizado numa bacia de forma alongada, que se estende dos Alpes ao Mar Mediterrâneo, está exposto a ventos de sudeste, que são intensificados pelo relevo de alta altitude que circunda a bacia produzindo ventos muito fortes e sobrelevações do nível do mar de origem meteorológica elevadas. A SNMOM no norte do Mar Adriático resulta de uma baixa pressão localizada no norte do Mar Mediterrâneo e de ventos fortes de sudeste (designados por *Sirocco*) responsáveis pela geração de ondulação e respetiva direção de propagação. Os valores máximos de sobrelevação ocorrem entre outubro e janeiro e os mínimos entre junho e setembro. Os resultados obtidos entre estes autores e Krestenitis *et al.* (2010) são bastante similares.

Weisse *et al.* (2012) estudaram as SNMOM ocorridas no sul do Mar do Norte, causadas por uma combinação de diferentes fatores que estão na origem das tempestades e do clima de agitação marítima, distribuídos em escalas espaciais e temporais distintas. Concluíram que as sobrelevações representam uma grande ameaça para o litoral baixo e propõem estratégias alternativas, assim como diálogos sociais mais sustentáveis para a proteção costeira, tais como:

- A construção de uma linha de diques cuja finalidade é dissipar a energia da onda mas em contrapartida vão originar assoreamentos nas lagunas criadas e a um aumento da coluna de água na frente dos diques construídos;
- A construção de uma proteção combinada constituída por uma estrutura dupla. A estrutura principal serve para proteger o interior contra inundações e a segunda localizada mais ao largo serve de escudo protetor ao ataque da ondulação forte. Face à primeira opção esta proteção dupla tem vantagens no respeitante à segurança do território que é mais eficaz assim como no controlo dos custos dos materiais.

Estas estratégias não apresentaram uma boa relação custo/benefício nas simulações para o estuário Ems-Dollard sendo por isso necessário providenciar estudos urgentemente.

2.6. Estudo do fenómeno no litoral português

Embora corresponda a um fenómeno que só recentemente começou a ser estudado de forma sistemática, a SNMOM foi reportada em trabalhos científicos durante todo o século XX. Correia Pereira (1937), citado por Taborda e Dias (1992), refere o temporal de Janeiro de 1937 e exemplifica com o caso de Vila Nova de Milfontes, onde a água subiu até 3m de altura o que nunca tinha acontecido ou ainda não teria sido relatado.

Morais e Abecassis (1978), citados por Taborda e Dias (1992) e Andrade *et al.* (2006), relatam uma sobrelevação máxima de 0,53m, aquando do temporal de 1973 no porto de Leixões. Contudo este trabalho peca por se referir apenas a uma estação e a uma situação de temporal.

Taborda e Dias (1992) caracterizaram as SNMOM durante os temporais de fevereiro/ março de 1978 e dezembro 1981 e janeiro de 1982. Foram analisadas as previsões realizadas pelo

Instituto Hidrográfico (IH) e os dados correspondentes aos registos horários de oito estações maregráficas, (Viana do Castelo, Leixões, Aveiro, Cascais, Lisboa, Troia, Sines e Lagos), entre os dias 1 fevereiro e 31 março de 1978 e 16 dezembro 1981 e 14 janeiro 1982. “Os níveis máximos de maré atingiram valores que variaram entre 3,8 e 4,3m para o temporal de 1978 e 3,6 e 4,0m para o temporal de 1981/82, excedendo a maré máxima prevista em 0,4m e 0,7m” (Taborda e Dias, 1992). Os autores concluíram que grande parte da sobrelevação observada foi explicada pelo comportamento da pressão atmosférica e do vento, após análise aos dados cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG) atual Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), das estações meteorológicas localizadas o mais próximo possível das estações maregráficas. Foi, ainda, concluído que para os temporais estudados, os valores máximos de sobrelevação observados nas oito estações maregráficas variaram entre 0,4m e 0,9m e 0,4m e 1,2m, respetivamente. Os valores máximos de sobrelevação em Cascais foram de 0,42 e 0,52m, para cada uma das tempestades. Mais recentemente, Andrade *et al.* (2006) estimaram valores de sobrelevação de 0,54 e 0,58m para períodos de retorno 50 e 100 anos, por aplicação da distribuição de Gumbel à série de valores máximos anuais de sobrelevação do nível do mar em Cascais.

O temporal de fevereiro de 1978 provocou estragos e destruição em todo o litoral português, que se traduziram por recuos da linha de costa, galgamentos oceânicos, inundações e destruições de estruturas de defesa da costa e, também, portuárias (Pires, 1978; Daveau *et al.*, 1978; Feio, 1980), demonstrando a ameaça que o fenómeno constitui. Para este temporal, não se encontraram registos de ocorrência de SNMOM, devendo-se tal facto à não existência de estudos sobre este fenómeno.

Gama *et al.* (1994) analisaram o fenómeno da SNMOM em Portugal, no período de dois anos consecutivos, entre junho de 1986 e maio de 1988, através do estudo de dados fornecidos por sete estações maregráficas nacionais, (Viana do Castelo, Aveiro, Cascais, Lisboa, Tróia, Sines e Lagos) e concluíram que os níveis de sobrelevação podem ser superiores a um metro. Partindo da análise percentílica de todos os registos horários de sobrelevação, para o período em estudo e da análise das curvas de distribuição de frequências, definiram três classes de sobrelevações: sobrelevações significativas (acima do percentil 95); sobrelevações muito significativas (acima do percentil 99); sobrelevações altamente significativas (acima do percentil 99,9), considerando os níveis como referências anuais, devido à curta duração da

série de dados. O quadro 2.2 apresenta os resultados obtidos por Gama (1996), dos níveis de sobrelevações significativa, muito significativa e altamente significativa e sobrelevações máximas e mínimas, expressas em metros (m), registadas em cada estação maregráfica no período de maio 1986 a junho 1988.

Quadro 2.2 – Níveis de sobrelevações (S.) significativa, muito significativa e altamente significativa obtidos por Gama (1996) e S. máximas e mínimas, expressas em metros (m), registadas nas estações maregráficas estudadas, no período de maio 1986 a junho 1988. Adaptado de Gama *et al.* (1994a).

	Marégrafos						
	V.Castelo	Aveiro	Cascais	Lisboa	Tróia	Sines	Lagos
S. mínima registada	-0,27	-0,27	0,27	-0,30	-0,18	-0,21	-0,13
S. significativa	0,39	0,31	0,26	0,23	0,28	0,29	0,33
S. muito significativa	0,54	0,42	0,34	0,29	0,34	0,35	0,43
S. altamente significativa	0,90	0,67	0,43	0,39	0,41	0,43	0,60
S. máxima registada	1,10	0,78	0,52	0,48	0,51	0,47	0,75

Gama (1996) prolongou o estudo e recorreu ainda a uma análise multivariada, para determinar quais as condicionantes que tinham maior ou menor correlação com o fenómeno da sobrelevação do nível do mar, evidenciando a importância das variáveis de origem meteorológica: pressão atmosférica, vento e precipitação e de origem oceanográfica: altura significativa da onda e período da onda.

Em 1999, Carvalho fez uma simulação numérica da SNMOM, onde demonstrou que a SNMOM é mais acentuada na costa ocidental, entre Leixões e Nazaré e a leste de Albufeira, no Algarve, quando ocorrem situações de temporal.

Andrade *et al.* (2006), através do estudo de dados fornecidos por quatro estações maregráficas nacionais, Viana do Castelo (1978-1996), Leixões (1956-1985), Cascais (1987-2000) e Lagos (1986-2000), encontraram valores de sobrelevação mais elevados, por vezes excedendo um metro, no litoral norte (Viana do Castelo → 1,07 m, dia 17/02/1986) à semelhança com outros autores; calcularam os períodos de retorno (5, 10, 25, 50 e 100 anos) por aplicação da distribuição de Gumbel e pelo método da distribuição da probabilidade conjunta à série dos níveis extremos anuais de sobrelevação do nível do mar para as quatro estações e na análise estatística do nível máximo do mar aplicaram os mesmos métodos, comparando os resultados com os obtidos por Gama *et al.* (1994), quando calcularam os períodos de retorno dos níveis extremos.

O quadro 2.3 apresenta os resultados dos níveis máximos atingidos pelo nível do mar, obtidos por Andrade *et al.* (2006) e Gama *et al.* (1994), no cálculo do período de retorno para períodos de dados distintos.

Quadro 2.3 – Síntese dos resultados dos níveis máximos atingidos pelo nível do mar (maré + SNMOM) obtidos por Andrade *et al.* (2006) e Gama *et al.* (1994), no cálculo do período de retorno. Adaptado de Andrade *et al.* (2006).

Autor	Marégrafo	Período de dados	Período de retorno (anos)				
			5	10	25	50	100
Andrade <i>et al.</i> (2006)	Viana do Castelo	1978 - 1996	4,3	4,3	4,4	4,5	4,6
	Leixões	1956 - 1985	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6
	Cascais	1987 - 2000	4,1	4,2	4,3	4,3	4,4
	Lagos	1986 - 2000	4,2	4,2	4,3	4,4	4,5
Gama <i>et al.</i> (1994)	Viana do Castelo	05/1986 - 06/1988	4,61	4,71	4,78		
	Cascais	05/1986 - 06/1988	4,15	4,19	4,22		
	Lagos	05/1986 - 06/1988	4,23	4,29	4,34		

Andrade *et al.* (2006) concluíram que o método de Gumbel pela sua fundamentação teórica baseada na estatística de extremos, é mais adequado principalmente em séries de observações mais extensas; calcularam os valores máximos do nível do mar sob o efeito conjunto da maré de origem astronómica e a sobrelevação para os mesmos locais e períodos de retorno, chegando à conclusão que a probabilidade de ocorrer uma grande sobrelevação com uma preia-mar de marés vivas é reduzida.

Desenvolveram e testaram um método simplificado para o cálculo da sobrelevação a partir de dados meteorológicos, demonstrando a importância da componente tangencial do vento na formação da SNMOM, para além da componente do vento normal à linha de costa já reconhecida por vários autores.

Capítulo 3: Metodologia, técnicas e fontes utilizadas

O presente estudo utiliza diversas metodologias e técnicas que serão apresentadas neste capítulo tendo em conta os objetivos propostos.

O período de análise encontra-se compreendido entre outubro de 2007 e dezembro de 2010.

A importância socioeconómica do fenómeno é tratada com base numa análise à imprensa nacional e regional, no período selecionado. Recorrendo às séries maregráficas de Viana do Castelo, Leixões, Cascais, Sines e de Lagos avalia-se também a frequência e a magnitude do fenómeno no período de análise e sobre a costa de Portugal continental, onde as características de agitação marítima estão associadas aos padrões de circulação atmosférica no Atlântico Norte.

3.1. Tratamento de dados noticiados

Na recolha e seleção de notícias foram seguidos critérios que validassem as situações de temporais ocorridas no litoral de Portugal continental.

Selecionaram-se apenas as notícias que reportavam situações de temporal (segundo a imprensa) na costa de Portugal continental. Após esta seleção, todas as notícias foram lidas, sintetizadas e identificadas segundo parâmetros que facilitem uma melhor perceção do que ocorreu numa determinada altura do ano¹. Assim, elaborou-se um quadro constituído por nove campos, onde se registou: o ano; a data da notícia; a fonte de informação (neste campo também se incluiu referência ao dia caso este não coincida com a data e seja reportado); os fatores condicionantes do temporal; a localização dos eventos; o tipo de fenómenos segundo classificação proposta (evento erosivo, galgamentos e inundações²).

¹ Não se pode deixar de mencionar que as notícias são muitas vezes vagas, pouco claras, referindo impactes nem sempre bem referenciados espacialmente. Porém, encerram um importante manancial de informação que se organizou, com base nos dados disponíveis.

² Evidentemente que os galgamentos provocam erosão, mas esta associação raramente é feita nas notícias. Por essa razão consideraram-se como consequências distintas. Esta opção é, evidentemente, discutível, mas pareceu a que melhor espelhava as situações descritas.

Para além destas existem ainda outras consequências tais como: barras fechadas ou condicionadas, perda de vidas humanas, feridos, desaparecidos, arrastados, evacuados, resgatados, desalojados e realojados, danos materiais em habitações, apoios de praia, vias de comunicação, barcos naufragados, deslizamentos e abatimentos de terras, como está exemplificado na quadro 3.1.

Desta análise resultou um quadro onde se registaram 405 notícias com ocorrências de situações de temporais.

Quadro 3.1 – Exemplo ilustrativo do Quadro dos temporais ocorridos em Portugal continental registados pela imprensa nacional no período de 01 de outubro 2007 a 31 de dezembro 2010.

Ano	Notícias	Imprensa	Genérico	Locais	Evento Erosivo/ Galgamentos	Inundações	Barras fechadas	Outras consequências
2008	23-Fev	Expresso	Precipitação forte	Distrito Lisboa	Galgamentos Cruz Quebrada	Distrito Lisboa		Acessos condicionados/ danos materiais
	23-Fev	Observatório Algarve	Ondulação forte	Algarve	Galgamentos Alvor (praia Três Irmãos)			2 Pessoas caíram da “falésia” de Sagres/danos materiais
	24-Fev	Correio Manhã (dia23)	Ondulação/vento/ precipitação forte	Algarve	Galgamentos Alvor (praia Três Irmãos) / Praia perdeu 100m areal mês Fevereiro	3 Salema, Aljezur e Bordaleira	Todas Algarve, exceto Portimão e Baleeira desde dia 22	1 Pessoa resgatada na Barra de Tavira
	24-Fev	Diário Notícias (dia23)	Ondulação/vento/ precipitação forte	Toda costa	Galgamentos Portimão (Praia Portimão perdeu 150m areal)	Aveiro, Lisboa, Belém, Oeiras, Setúbal e Salema		Acessos condicionados/ danos materiais
	24-Fev	Diário Notícias (dia23)	Ondulação/vento/ precipitação forte	Distrito Lisboa e Algarve	Galgamentos Portimão	Lisboa, Dafundo e Salema		Acessos condicionados/ danos materiais

A recolha sistemática de informação é um passo importante para que fique registada informação que nos dê conta das situações de risco, pois relatam-nos alguns dos efeitos nefastos provocados pelos temporais.

Com base nas 405 notícias, construiu-se um quadro síntese constituído por cinco campos onde se evidenciam as datas de ocorrência dos temporais (ano, dia e mês); a duração em

número de dias; a época do ano (outono, inverno, primavera e verão) e os territórios afetados. O quadro 3.2 apresenta um excerto do quadro dos temporais reportados pela imprensa nacional segundo a estação do ano, no período em estudo.

Quadro 3.2 – Exemplo ilustrativo do Quadro síntese dos temporais reportados pela imprensa nacional por estação do ano, no período de 01 de outubro 2007 a 31 de dezembro 2010.

Ano	Temporais	Duração	Época	Territórios afetados
2007 (4)	1-3/10	3	Outono	Lisboa e Algarve
	18-22/11	5	Outono	Lisboa e Algarve
	14/12	1	Outono	Costa oeste (Stª Cruz)
	19-22/12	4	Outono/Inverno	Lisboa e Algarve

Na abordagem das notícias sobre temporais relatados nos jornais analisados e atendendo à forma muito genérica como estas são descritas, propôs-se uma classificação e caracterização baseadas nas designações reportadas. Esta foi a base para a classificação dos eventos erosivos, galgamentos oceânicos e inundações (ver nota de pé de página 1).

Da informação obtida no quadro síntese dos temporais fez-se uma análise espacial do impacto dos temporais, e, a partir desta, analisou-se o padrão de progressão espacial de cada temporal reportado pela imprensa.

Recorrendo ao programa *ArcGis* 9.3 cartografaram-se os eventos ocorridos sobre a base administrativa dos concelhos do litoral de Portugal continental.

Para avaliar a fiabilidade dos dados reportados pela imprensa, selecionaram-se três temporais de maior magnitude que afetaram regiões distintas e com diferente duração e para cada um deles caracterizou-se o clima de agitação marítima e a circulação sinótica.

3.2. Os dados do clima de agitação marítima

Os dados do clima de agitação marítima foram cedidos pelo IH e referem-se às séries das estações ondógrafo de Leixões, Sines e Faro (Quadro 3.3)., tendo sido utilizados para caracterizar o período estudado e a ocorrência de valores extremos.

A aquisição dos dados associados à ondulação é efetuada pelo Instituto Hidrográfico de 3 em 3 horas e nas situações de temporal de meia em meia hora. Para a caracterização do clima de agitação utilizaram-se os parâmetros definidos no quadro 3.4.

Quadro 3.3 – Localização geográfica das estações ondógrafo. Fonte: Instituto Hidrográfico.

Estação ondógrafo	Coordenadas		Profundidade (m)
	Latitude	Longitude	
Leixões	41º 19' 00'' N	8º 59' 00'' W	83
Sines	37º 55' 16'' N	8º 55' 44'' W	97
Faro	36º 54' 17'' N	7º 53' 54'' W	93

Quadro 3.4 – Definição dos parâmetros caraterísticos da onda. Fonte: Trindade (2010).

Parâmetro	Definição
(H_s)	A altura significativa corresponde à altura média do terço mais elevado de ondas numa sequência finita de dados. Parâmetro próximo das estimativas visuais das alturas de ondas (mZH).
(H_{max})	Altura máxima de ondas registada numa sequência finita de dados (mZH).
(T_z)	O período médio, tendo em conta todos os registos. Também é designado como período de zero ascendente (s).
(T_s)	O período significativo corresponde ao tempo médio decorrido na passagem de duas cavas ou de duas cristas sucessivas de H_s (s)
(T_{max})	Período máximo registado numa sequência finita de dados (s).
(D_s)	A direção significativa corresponde ao rumo médio de H_s (°N).

O quadro 3.5 mostra o número de dias com registos em cada parâmetro da ondulação (H_s , H_{max} , T_z , T_s e T_{max}), nas bóias ondógrafo de Leixões, Sines e Faro, entre 01 de outubro de 2007 e 31 de dezembro de 2010 (1188 dias).

Leixões foi a bóia que apresentou maior número de dias com registos, sendo janeiro o mês com mais lacunas e novembro o mês com mais registos diários. A bóia ondógrafo de Sines foi a que apresentou mais lacunas para igual período, destacando-se o mês de dezembro.

Tendo como objetivo o estudo da SNMOM na costa ocidental e meridional selecionaram-se cinco marégrafos que melhor possibilitassem o seu estudo sistemático no período de 01 de outubro de 2007 a 31 de dezembro de 2010.

Quadro 3.5 – Número de dias com registos em cada parâmetro da ondulação (H_s , H_{max} , T_z , T_s e T_{max}), nas bóias ondógrafo de Leixões, Sines e Faro, entre 01 de outubro de 2007 e 31 de dezembro de 2010 (1188 dias).

Bóia	Dados	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total
Leixões	Dados	62	84	93	90	68	90	93	93	88	124	120	119	1124
	Lacunas	31	1	0	0	25	0	0	0	2	0	0	5	64
Sines	Dados	81	74	68	66	93	87	88	93	90	94	107	87	1028
	Lacunas	10	11	25	24	0	3	0	0	0	30	13	37	153

Dados	84	75	49	76	85	85	69	93	90	124	119	122	1071
Faro Lacunas	9	10	44	14	8	5	24	0	0	0	1	2	117

Tendo em conta os dados disponíveis neste período, selecionaram-se Viana do Castelo e Leixões a norte, Cascais no centro, Sines no centro sul e Lagos no sul, (Quadro 3.6), determinando-se sistematicamente as diferenças entre os níveis observados e os previstos (maré astronómica).

Quadro 3.6 – Localização geográfica dos marégrafos. Fonte: Instituto Hidrográfico.

Marégrafo	Coordenadas	
	Latitude	Longitude
Viana do Castelo	41º 41,09' N	8º 50,03' W
Leixões	41º 11,01' N	8º 42,02' W
Cascais	38º 41,05' N	9º 25,01' W
Sines	37º 56,08' N	8º 53,02' W
Lagos	37º 05,08' N	8º 39,09' W

3.3. Tratamento de dados maregráficos

Relativamente ao período em estudo os dados horários das marés observadas dos marégrafos de Viana do Castelo, Leixões e Sines, e as alturas horárias das marés previstas de todos os marégrafos foram obtidos através do IH. Os dados horários das marés observadas dos marégrafos Cascais e Lagos foram obtidos através do IGP.

Os registos horários das alturas das marés observadas somaram um total de 114873 para as cinco estações maregráficas, como se ilustra com o quadro 3.7. Os registos obtidos da altura das marés previstas somaram um total de 119184, contabilizando-se 4311 lacunas de dados. Estas lacunas reportaram apenas aos registos das marés observadas.

O total de registos horários tratados foi de 234059, caso não existissem lacunas de dados no período de 01 de outubro de 2007 a 31 de dezembro de 2010 tratar-se-iam 285120 registos horários.

Os registos maregráficos de Lagos tratados reportaram apenas aos meses de junho a dezembro de 2009 devido à grande lacuna de dados. Pese embora o reduzido número de dados disponíveis em Lagos considerou-se importante a sua inclusão neste trabalho para

uma possível análise da ocorrência da sobrelevação do nível do mar de origem meteorológica na costa algarvia.

Quadro 3.7 – Número de registos maregráficos horários tratados para as estações de Viana do Castelo, Leixões, Cascais, Sines e Lagos, no período em estudo.

Marégrafo	Período de dados	Registos de Marés Observadas	Registos de Marés Previstas	Lacunas de dados
Viana do Castelo	01out2007/ 31dez2010	28350	28512	162
Leixões		26788	28512	1724
Cascais		27304	28512	1208
Sines		27721	28512	791
Lagos (01jun-31dez 2009)		4710	5136	426
Total		114873	119184	4311
Total de Registos Tratados		234059		

Devido à vasta informação de dados maregráficos foi necessário recorrer ao programa *Excel*, onde a informação foi tratada e filtrada, constituindo-se posteriormente uma base de dados. O uso deste programa resultou da necessidade de cálculos sobre grandes quantidades de dados relativos aos registos das marés observadas e das marés previstas, de modo a obter-se a sobrelevação do nível do mar.

A base de dados criada contém onze campos, sendo que dois deles (“Dia” e “Mês”) são redundantes. Estes campos, apesar da sua redundância, mantiveram-se na base de dados, pois facilitaram a criação dos gráficos, tornando-os mais perceptíveis.

Descrevem-se de seguida os campos utilizados na criação da base de dados:

I- Nome do marégrafo; II- Ano; III- Mês; IV- Dia; V- Hora; VI- Maré (consideraram-se as preia-mar e baixa-mar); VII- Marés observadas em metros (m); VIII- Marés previstas em metros (m); XIX- Nível de sobrelevação em metros (m) resultante da diferença das marés observadas e das marés previstas; X- Nível médio do mar (m); XI- Subida do nível do mar (m).

À seleção e ao tratamento dos dados foi aplicada a metodologia apresentada por Taborda e Dias (1992) e Gama (1996).

Após a compilação de todos os dados selecionaram-se os períodos onde ocorreram sobrelevações do nível do mar significativas.

Visto que o nível do mar observado nem sempre assumia o plano do Zero Hidrográfico (2.080m para Cascais e 2.000m para as restantes estações maregráficas) e estava em milímetros foi necessário recorrer às seguintes expressões (eq. 5 e 6):

$$\eta = (2080 + \eta_0) / 1000 \quad \text{eq. 5}$$

$$\eta = (2000 + \eta_0) / 1000 \quad \text{eq. 6}$$

em que η corresponde ao nível do mar observado, em metros e η_0 corresponde ao nível do mar observado, em milímetros.

Para cada estação maregráfica foram elaborados gráficos representativos de todas as sobrelevações e com base numa análise percentilica calcularam-se os níveis de sobrelevação acima do percentil 95, 99 e 99,9 considerados como referência.

Nas situações em que se observaram sobrelevações foram selecionados períodos em que ocorreram as consideradas muito significativas e altamente significativas, podendo as significativas ser recorrentes no tempo.

3.4. Tratamento da informação sinóptica

As ondas são, tal como na maioria dos casos a SNMOM, resultado da interação oceano-atmosfera. Por esse motivo e para entender essa interação recorreu-se à análise da circulação sinótica avaliada nos boletins diários cedidos pelo IPMA e na análise de cartas sinóticas acedidas através dos arquivos de dados disponíveis na *Internet*, nomeadamente, no www.wetter3.de, para o período de outubro de 2007 a dezembro de 2010.

Nos boletins diários analisaram-se as cartas de superfície e de altitude (quando estas permitissem tipificar as situações atmosféricas) assim como medições de pressão e direção e velocidade do vento indispensáveis para uma melhor compreensão do fenómeno, complementados com a análise de cartas sinóticas descarregáveis através da *Internet*, nomeadamente, no www.wetter3.de.

A caracterização da circulação sinótica responsável pela SNMOM foi feita recorrendo aos dados horários cedidos pelo IPMA, referentes às observações de superfície das estações meteorológicas de Viana do Castelo (Chafé), Porto (Pedras Rubras), Lisboa (Gago Coutinho), Sines (Monte Chãos), Sagres e Faro (Aeroporto) (Quadro 3.8).

Quadro 3.8 – Localização geográfica das estações meteorológicas, com o número de identificação (ID). Fonte: Instituto Português do Mar e da Atmosfera.

Estações meteorológicas	ID	Coordenadas		
		Latitude (°')	Longitude (°')	Altitude (m)
Viana do Castelo/Chafé	551	41º 38' N	8º 48' W	48
Porto /Pedras Rubras	545	41º 14' N	8º 41' W	63
Lisboa/Gago Coutinho	579	38º 45' N	9º 07' W	104
Sines/Monte Chãos	541	37º 57' N	8º 50' W	103
Sagres	533	37º 00' N	8º 56' W	25
Faro/Aeroporto	554	37º 00' N	7º 58' W	8

Nos dados meteorológicos horários, os parâmetros utilizados foram: a pressão atmosférica ao nível do mar (hPa), a intensidade (km/h) e direção (°) do vento ao nível da estação.

Capítulo 4. O *storm surge* na imprensa escrita no período de 10/2007 a 12/2010

4.1. Os jornais analisados

Neste capítulo salientam-se os resultados da inventariação das ocorrências de temporais reportadas pela comunicação social nacional, resultado do *clipping* da imprensa nacional, escrita em suporte de papel (jornais e revistas) e digital (internet). Pretendeu-se avaliar os impactes dos temporais ocorridos no litoral de Portugal continental no período compreendido entre 01 de outubro de 2007 e 31 de dezembro de 2010.

O mar é um poderoso agente erosivo na linha de costa. A sua ação é amplificada pela ocorrência de temporais a que se associam com elevada frequência fenómenos de SNMOM, objeto deste estudo.

A imprensa desempenha um papel relevante para o conhecimento generalizado das situações de temporal que ocorrem ou ocorreram em particular no litoral, assumindo-se como fonte de informação expedita e sistemática.

Com base nesta premissa procedeu-se ao levantamento de notícias alusivas à existência e consequências dos temporais em todo o litoral do continente durante o período em análise.

Recorrendo a quatro jornais diários e a dois semanários de tiragem nacional, em suporte de papel, fez-se uma recolha sistemática de informação de imprensa nacional do período em estudo, que resultou num total de 5090 edições, das quais 4752 diárias e 338 semanais, correspondentes às edições ocorridas entre 01 de outubro de 2007 e 31 de dezembro de 2010 (Quadro 4.1).

Na base da escolha dos jornais diários (Correio da Manhã, Diário de Notícias, Jornal de Notícias e Público) e dos jornais semanários (Expresso e Sol) teve-se em conta a tiragem dos mesmos, que reflete a sua procura por parte do público, pelo que em princípio seriam os meios que mais informação transmitiriam.

Também se realizou uma recolha pontual, baseada nas datas de eventos selecionados anteriormente, recorrendo-se a jornais regionais, revistas e pesquisa na *Internet*.

Quadro 4.1 - Imprensa consultada no período de 01 de outubro 2007 a 31 de dezembro 2010.

Imprensa (01Out2007-01Jan2011)	Nº edições diária	Nº edições semanal
Público	1188	
Correio da Manhã	1188	
Diário de Notícias	1188	
Jornal de Notícias	1188	
Expresso		169
Sol		169
Total de edições	4752	338

Neste contexto, e tendo em conta as metodologias de levantamento de dados referentes aos temporais anteriormente enunciados, classificaram-se e caracterizaram-se os tipos de eventos, os seus impactes e os fatores que lhe são condicionantes. Na simples abordagem que a imprensa permite utilizaram-se as designações reportadas pelas notícias. Consideram-se:

- **Eventos erosivos** onde se reportam consequências associadas a processos erosivos no litoral, incluindo perda de sedimentos em sistemas de praia e colapso de arribas. São geralmente fenómenos de grande magnitude associados a uma ondulação fortemente energética, com enorme capacidade de erosão e mobilização de sedimentos de vários calibres, e alturas de onda superiores às que se registam habitualmente. As notícias são muito imprecisas, dependendo do rigor do jornalista, e só foi possível classificar os Eventos erosivos, uma vez que estes provocam danos no território litoral;
- **Galgamentos oceânicos**, que se traduzem nas notícias por forte ondulação que galgou a linha de costa. Esta ondulação com elevada energia cinética e potencial, resultado da interação oceano-atmosfera, caracteriza-se por um conjunto de parâmetros (altura e comprimento de onda, período, direção de propagação e velocidade) nunca referenciados nas notícias de jornal. Esses parâmetros são condicionados por fatores de natureza distinta: climatológica, geomorfológica, hidrológica e antrópica (construção de estruturas de defesa costeira). Dependendo da morfologia da costa, os galgamentos oceânicos provocam simultaneamente

erosão e acumulação, alterando-lhe o perfil, assim como provocam inundações ribeirinhas.

- **Inundações**, fenómeno misto recorrente no litoral, que nas notícias se reportam geralmente ao inverno marítimo, com causas de natureza marinha, provocadas por galgamentos oceânicos da linha de costa, numa situação de temporal, e também por precipitações fortes.

Esta foi a divisão possível atendendo ao teor das notícias, pois muitas vezes a forma como estas são relatadas é muito genérica, tanto espacialmente como no descritivo.

A imprensa referenciou os temporais ocorridos, dando ênfase às consequências que estes trouxeram para o território. Estas são de diversa ordem, incluindo por vezes vidas humanas, danos materiais e barras fechadas (ou condicionadas).

4.2. Análise espacial do impacte dos temporais

Construiu-se um quadro síntese dos temporais reportados pela imprensa nacional com base nas 405 notícias inventariadas. No quadro 4.2 observa-se que no ano 2007, entre 01 de outubro e 31 de dezembro, foram referenciados 4 temporais, com duração de um a cinco dias, no outono e inverno. No ano 2008, a imprensa reportou 17 temporais, com duração de um a oito dias, ao longo de todo o ano. Em 2009, foram referenciados 14 temporais, com duração de um a sete dias, ao longo de todo o ano. No ano 2010, a imprensa referenciou 29 temporais, com duração de um a dezasseis dias, durante todo o ano.

A partir do histograma elaborado com todos os dados referentes a temporais (figura 4.1), seleccionaram-se as situações menos recorrentes ou seja, os temporais que perduraram nos periódicos seis ou mais dias.

O quadro 4.2. apresenta as situações referentes aos temporais referenciados pela imprensa nacional, realçando-se com cores, consoante a duração dos mesmos.

Todas as situações reportadas afetaram a costa de Portugal continental e ocorreram em todas as estações do ano nos anos 2008, 2009 e 2010. Da análise do ano 2007 não se pode ter a mesma conclusão, visto que apenas se iniciou a recolha de informação no dia 01 de outubro. No período em estudo foram identificados 64 episódios de temporais, pela imprensa; 29 aconteceram no outono, 21 no inverno, 8 na primavera e 5 no verão. Saliente-

se o temporal de 19-22 de dezembro de 2007 que ocorreu no final do outono e início do inverno. Os temporais têm geralmente uma maior incidência no inverno marítimo (outubro-maio).

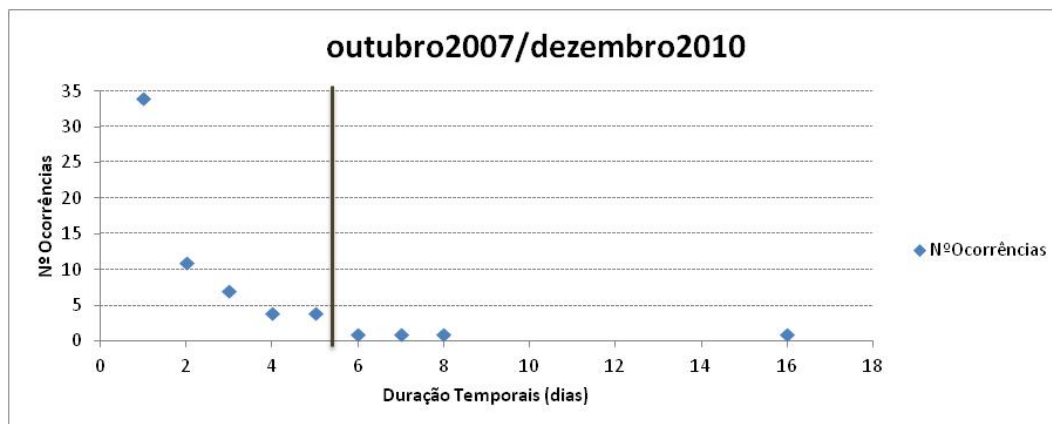


Figura 4.1 – Número de ocorrências de temporais reportadas pela imprensa nacional no período de 01 de outubro 2007 a 31 de dezembro 2010.

Quadro 4.2 – Síntese dos temporais reportados pela imprensa nacional no período de 01 de outubro 2007 a 31 de dezembro 2010. A cor castanha representa as situações que perduraram nos periódicos seis ou mais dias. A cor cinzenta representa os temporais referenciados pela imprensa com duração inferior a seis dias. Em ambos os casos ocorreu erosão costeira.

Ano	Temporais	Duração	Época	Territórios afetados
2007 (4)	1-3/10	3	Outono	Lisboa e Algarve
	18-22/11	5	Outono	Lisboa e Algarve
	14/12	1	Outono	Costa oeste (Stª Cruz)
	19-22/12	4	Outono/Inverno	Lisboa e Algarve
2008 (17)	2-7/1	5	Inverno	Costa oeste e Algarve
	17-24/2	8	Inverno	Costa oeste e Algarve
	11/3	1	Inverno	Lisboa
	7-9/4	3	Primavera	Lisboa e Algarve
	14/4	1	Primavera	Lisboa e Algarve
	17-18/4	2	Primavera	Costa oeste e Algarve
	20/04	1	Primavera	Algarve
	20-21/8	2	Verão	Costa oeste e Algarve
	22/9	1	Outono	Algarve
	28-30/9	3	Outono	Algarve
	7/10	1	Outono	Costa norte
	12/10	1	Outono	Costa oeste
	18-19/10	2	Outono	Lisboa
	29/10	1	Outono	Lisboa
	30/11	1	Outono	Lisboa
	15/12	1	Outono	Costa oeste
	28/12	1	Inverno	Lisboa

(cont.)

Ano	Temporais	Duração	Época	Territórios afetados
2009	10/5	1	Primavera	Costa oeste
	4/9	1	Verão	Lisboa
	6-9/10	4	Outono	Costa oeste e Algarve
	20-22/10	3	Outono	Costa oeste e Algarve
	2/11	1	Outono	Costa norte
	4/11	1	Outono	Costa norte
	14-17/11	4	Outono	Costa oeste
	6-7/12	2	Outono	Costa oeste
	12-13/12	2	Outono	Costa oeste
	16/12	1	Outono	Costa oeste
	21/12	1	Outono	Algarve
	23-24/12	2	Inverno	Costa oeste e Algarve
	26-31/12	6	Inverno	Costa oeste e Algarve
2010 (29)	4/1	1	Inverno	Costa oeste e Algarve
	7-8/1	2	Inverno	Costa oeste e Algarve
	10-14/1	5	Inverno	Costa oeste e Algarve
	24/1	1	Inverno	Costa oeste e Algarve
	27/1	1	Inverno	Costa oeste
	4/2	1	Inverno	Algarve
	8-9/2	2	Inverno	Costa oeste
	16-18/2	3	Inverno	Costa oeste e Algarve
	20/2	1	Inverno	Costa oeste
	22-28/2 e 1-9/3	16	Inverno	Costa oeste e Algarve
	19/3	1	Inverno	Costa norte
	16/3	1	Inverno	Algarve
	21-23/3	3	Primavera	Costa oeste e Algarve
	30/4	1	Primavera	Costa norte
	23/5	1	Primavera	Costa norte
	22/6	1	Verão	Costa oeste
	9/8	1	Verão	Algarve
	3/9	1	Verão	Costa oeste
	3-4/10	2	Outono	Costa oeste e Algarve
	8-11/10	4	Outono	Costa oeste e Algarve
	15/10	1	Outono	Costa oeste
	29-31/10	3	Outono	Costa oeste e Algarve
	9-10/11	2	Outono	Costa oeste
	1/12	1	Outono	Algarve
	5-9/12	5	Outono	Costa oeste e Algarve
	18/12	1	Outono	Algarve
	20-21/12	2	Outono	Algarve
	25/12	1	Inverno	Algarve
	29/12	1	Inverno	Costa oeste

Obtiveram-se quatro períodos de situações abaixo indicados com um mesmo denominador comum: todas tiveram uma duração igual ou superior a seis dias, ocorreram no inverno e afetaram toda a costa de Portugal continental.

Para estes períodos fez-se uma análise espacial do impacte dos temporais, e a partir desta analisou-se o padrão de progressão espacial do temporal reportado pela imprensa.

Por sua vez, os temporais referenciados pela imprensa com duração inferior a seis dias, onde se evidenciavam fenómenos de erosão costeira também foram alvo de uma análise mais pormenorizada. Foram encontrados onze períodos nestas situações.

Quatro períodos com situações referenciadas pela imprensa superiores ou iguais a seis dias (Quadro 4.2):

17-24/02/2008 → (duração de oito dias), a imprensa reportou 58 notícias deste temporal, 14,3% do total. Ocorreu no inverno e afetou o Algarve e a costa oeste, sendo especialmente referenciados os distritos de Lisboa e Setúbal. Registaram-se 3 notícias de Eventos erosivos, 13 de Galgamentos e 39 de Inundações, provocados por ondulação, vento e precipitações fortes. O dia que registou maior número de notícias foi o dia 18 (36 notícias). Neste período a imprensa emitiu:

- 15 notícias sobre a perda de vidas humanas, no total de três;
- 9 notícias sobre o desaparecimento, arrastamento/ferimento (devido à ondulação forte) e evacuação de pessoas;
- 8 notícias sobre o desalojamento de pessoas;
- 6 notícias sobre o encerramento de barras no Algarve.

Todas as notícias referiram os danos materiais, com embarcações afundadas (Faro e Olhão), acessos condicionados, escolas encerradas, deslizamentos de terras, carros soterrados, relacionados com as cheias rápidas de Lisboa e Setúbal.

Este temporal segundo a imprensa teve o padrão de progressão espacial demonstrado pela figura 4.2, iniciando-se na costa sul (Algarve) dia 17/02, progredindo para norte dia 18/02, abrangendo toda a costa no período de 18-24/02.

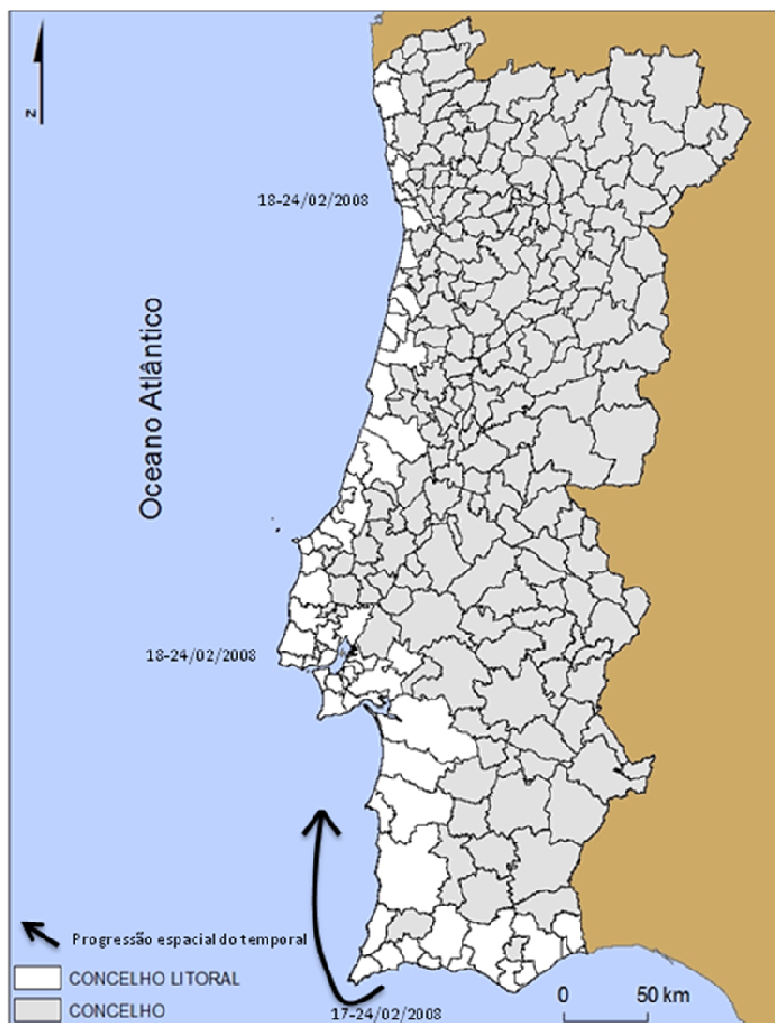


Figura 4.2 – Padrão de progressão espacial do temporal ocorrido em Portugal continental no período 17-24/02/2008, reportado pela imprensa nacional.

01-07/02/2009 → (duração de sete dias), a imprensa citou 21 notícias deste temporal, 5,2% do total. Ocorreu no inverno e afetou toda a costa de Portugal continental. Registaram-se 8 notícias de Galgamentos e 8 de Inundações, provocados por ondulação, vento e precipitações fortes. O dia que registou maior número de notícias foi o dia 2 (10 notícias). Neste período a imprensa emitiu:

- 1 notícia de 1 pessoa arrastada (devido à ondulação forte) em Ovar;
- 6 notícias sobre o encerramento de barras; dia 3 fez-se referência às datas de encerramento de algumas barras: Caminha e Vila Praia de Âncora desde 12/01; 15/01 São Martinho do Porto; Póvoa de Varzim desde 18/01 e Figueira da Foz e Douro desde 30/01.

Todas as notícias referiram os danos materiais, com embarcações afundadas e encalhadas no Algarve (3 referências) e os acessos condicionados à ilha de Faro.

O apuramento da imprensa indicou que o padrão de progressão espacial do temporal demonstrado pela figura 4.3, se iniciou no sotavento algarvio dia 01/02, abrangendo toda a costa no período de 02-07/02.

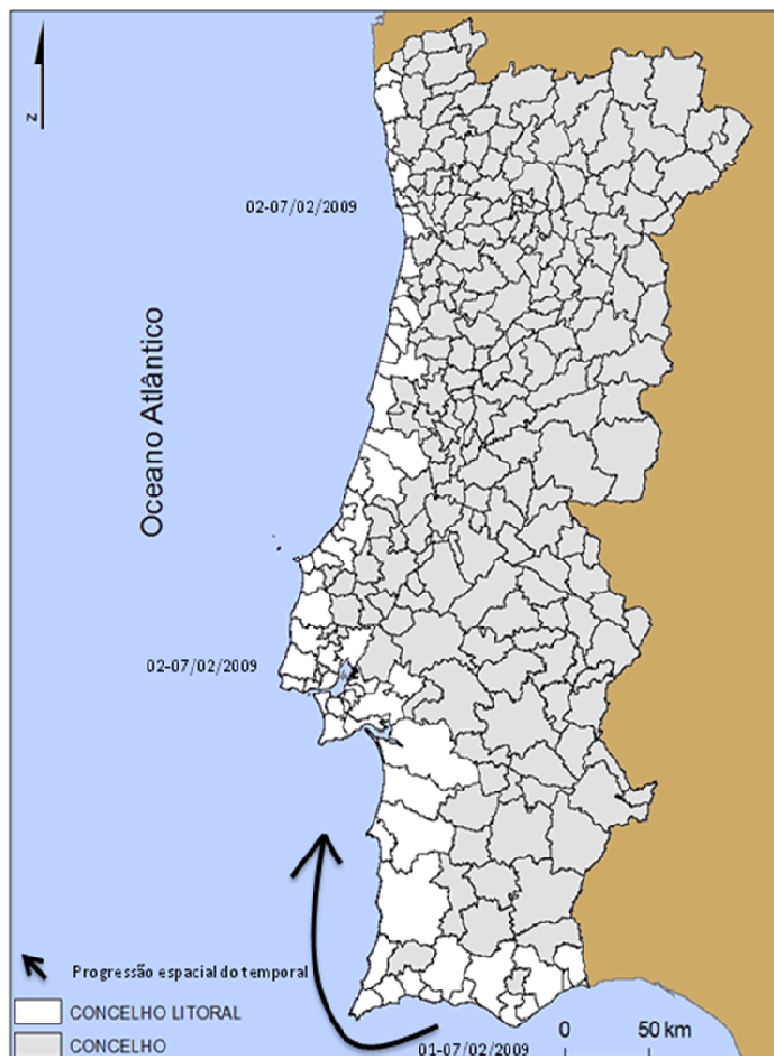


Figura 4.3 – Padrão de progressão espacial do temporal ocorrido em Portugal continental no período 01-07/02/2009, reportado pela imprensa nacional.

26-31/12/2009 → (duração de seis dias) a imprensa referiu 13 notícias deste temporal, 3,2% do total. Ocorreu no inverno e afetou toda a costa de Portugal continental. Registou-se 1 notícia de Inundações, provocada por ondulação, vento e precipitações fortes, no sotavento algarvio. Neste período a imprensa citou:

- 2 notícias sobre o encerramento de barras;
- 1 notícia (dia 28) sobre o cancelamento de cruzeiros devido à ondulação e vento forte.

As notícias referiram a existência de danos materiais e acessos condicionados neste período.

Este temporal reportado pela imprensa não teve um padrão de progressão espacial e abrangeu toda a costa no período de 26-31/12.

Tal facto pode justificar-se com inexistência de desagregação da informação no respeitante à componente espacial ou um padrão diferente dos elementos forçadores.

22-28/02 e 01-09/03/2010 → (duração de dezasseis dias) a imprensa reportou 43 notícias deste temporal, 5,2% do total. Ocorreu no inverno e afetou toda a costa de Portugal continental. Registaram-se 5 notícias de Eventos erosivos, 8 de Galgamentos e 14 de Inundações, provocados por ondulação, vento e precipitações fortes. Neste período a imprensa emitiu:

- 1 notícia de 3 pessoas mortas e 1 sobrevivente num barco afundado em Caminha devido à ondulação forte que coincidiu com a preia-mar;
- 5 notícias sobre o desaparecimento, resgate e feridos (devido à ondulação forte);
- 7 notícias sobre o desalojamento de pessoas;
- 1 notícias sobre o encerramento de barras (porto de Sesimbra dia 05/03).

Todas as notícias referiram os danos materiais, com habitações e apoios de praias destruídos, embarcações destruídas e afundadas, deslizamentos e desabamento de terras, bem como, acessos interditos na Arrábida, na ilha de Faro, comboios parados na linha de Cascais, e também condicionados em muitos locais.

Este temporal, com uma duração de 16 dias, reportado pela imprensa não teve um padrão de progressão espacial e abrangeu toda a costa no período de 22-28/02 e 01-09/03/2010. No entanto, houve dias em que as notícias referenciam bem alguns troços da costa como é exemplo dia 02/03/2010 que retrata bem a situação do Algarve com os galgamentos na ilha da Fuzeta, ficando a ilha dividida em duas. Este fenómeno natural ocorre de 50 em 50 anos (informação oral de Sebastião Teixeira, um dos responsáveis da Administração da Região Hidrográfica do Algarve em entrevista à imprensa).

Por sua vez, os temporais referenciados pela imprensa com duração inferior a seis dias, onde se evidenciavam fenómenos de erosão costeira também foram alvo de uma análise mais pormenorizada. Foram encontrados onze períodos nestas situações (Quadro 4.2), realçados a cor cinzenta.

No levantamento de notícias alusivas às consequências dos temporais no litoral do Continente, verificou-se que no ano 2010 houve mais relatos que poderão ter duas interpretações: a primeira possibilidade corresponde à intensificação dos fenómenos e a segunda ao acréscimo da sua duração (neste ano ocorreu um episódio de temporal cuja duração foram dezasseis dias e que abrangeu toda a costa), justificações que serão tratadas adiante.

A data deste episódio de maior duração coincidiu com o temporal de 20 de fevereiro de 2010 na ilha da Madeira que acarretou graves consequências, desde dezenas de mortos e feridos a centenas de desalojados assim como elevados prejuízos de várias ordens. É, pois, natural que a imprensa tenha uma maior apetência por este tipo de notícia, fazendo uma maior divulgação junto da população e por vezes exagerando os factos.

Da imprensa analisada, o maior número de notícias refere-se a inundações (223), seguindo-se os galgamentos oceânicos (78) e os eventos erosivos (31), com se ilustra com o quadro 4.3.

Quadro 4.3 – Eventos registados na imprensa no período de 01 de outubro 2007 a 31 de dezembro 2010.

Tipo de eventos	Notícias (nº)
Evento Erosivo	31
Galgamentos	78
Inundações	223
Notícias genéricas	131
Nº Total Notícias	405

No que se refere ao Nº Total de Notícias do quadro 4.3, importa salientar que há notícias que contemplam mais do que um evento no período analisado. Nestes casos foram contabilizados todos os registos nas respetivas classes. Também neste intervalo de tempo, se apuraram notícias que relatam a existência de temporais mas com carácter genérico (num total de 131), algumas referindo-se ao país em geral, não especificando se ocorreram algum tipo de eventos e as consequências que resultaram desses episódios para o Litoral.

A figura 4.4 representa a variação temporal dos eventos apurados para Portugal continental no período de 01 de outubro 2007 a 31 de dezembro 2010.

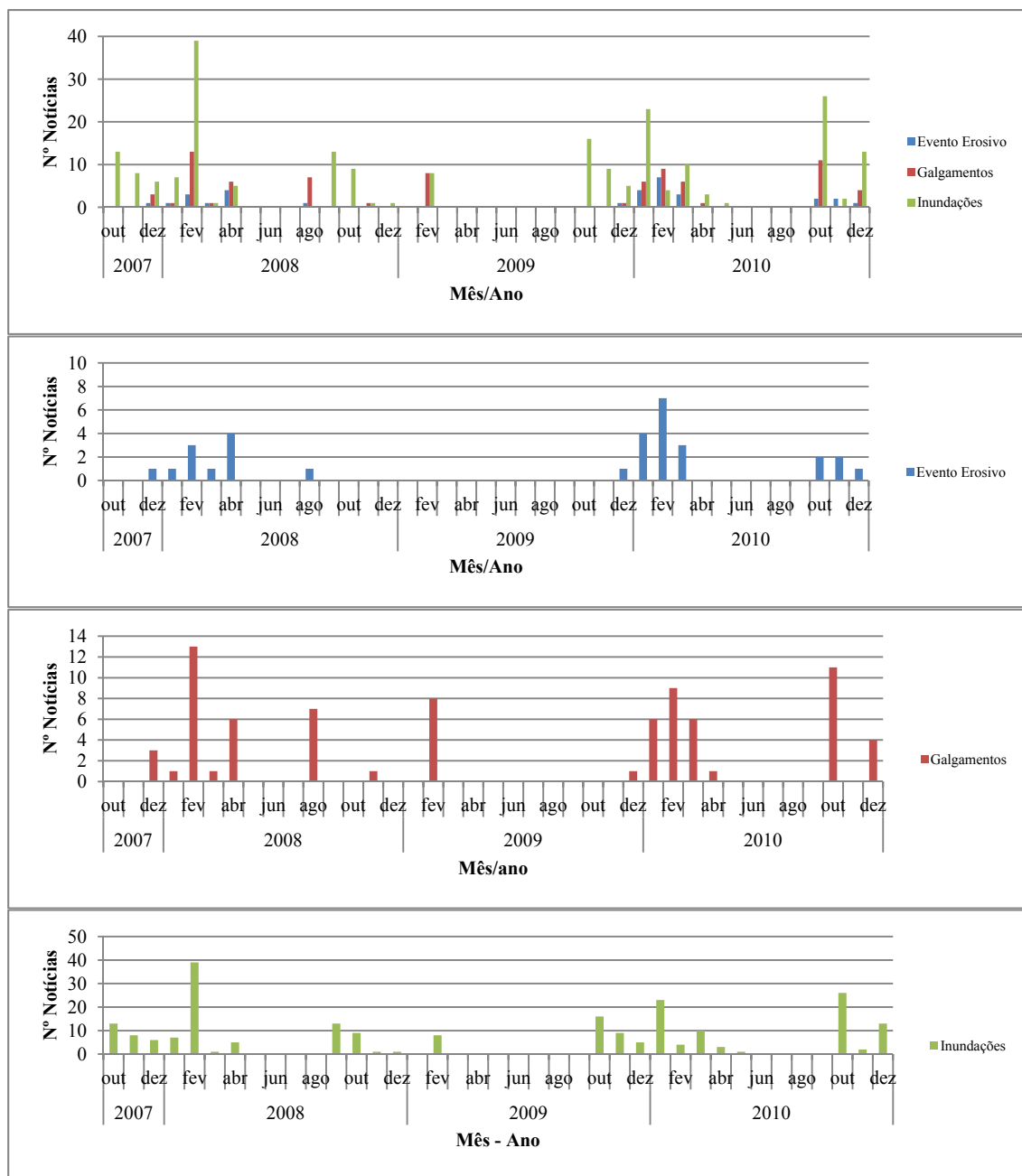


Figura 4.4 – Distribuição temporal dos Eventos ocorridos em Portugal continental, resultantes da pesquisa da imprensa nacional no período de 01 de outubro 2007 a 31 de dezembro 2010.

Os resultados obtidos da informação disponível na imprensa consultada para o período em estudo mostraram que estes eventos ocorrem tendencialmente durante o inverno marítimo, como seria expetável.

Destaque para os invernos de 2007/2008 e 2009/2010 onde ocorreram o maior número de eventos erosivos, galgamentos e inundações. Nos três invernos marítimos, deve salientar-se

o mês de fevereiro referenciado pela imprensa com maior número de notícias sobre a ocorrência de eventos:

Fevereiro 2008 → 3 notícias de eventos erosivos, 13 de galgamentos e 39 de inundações;

Fevereiro 2009 → 0 notícias de eventos erosivos, 8 de galgamentos e 8 de inundações;

Fevereiro 2010 → 7 notícias de eventos erosivos, 9 de galgamentos e 4 de inundações.

Também os meses de janeiro e março de 2010 foram citados em maior número de notícias do que idênticos meses relativamente aos anos anteriores:

Janeiro 2010 → 4 notícias de eventos erosivos, 6 de galgamentos e 23 de inundações;

Março 2010 → 3 notícias de eventos erosivos, 6 de galgamentos e 10 de inundações.

A justificação para este aumento do número de notícias para o ano 2010 será tratada adiante.

De salientar o mês de agosto de 2008 (verão), que foi referenciado com 1 notícia de evento erosivo e 7 de galgamentos, que a imprensa justificou como resultado de um agravamento súbito do estado do mar que afetou a costa na Foz Douro, Costa da Caparica, São João da Caparica, Lagoa e Portimão.

Os meses de outubro, novembro e dezembro de 2010, não se puderam analisar como inverno marítimo 2010/2011, visto que apenas reportaram o que se passou durante os três meses. Neste período a imprensa emitiu notícias sobre eventos ocorridos nos temporais:

Outubro 2010 → 2 notícias de eventos erosivos, 11 de galgamentos e 26 de inundações, de um total de 30;

Novembro 2010 → 2 notícias de eventos erosivos e 2 de inundações, de um total de 4;

Dezembro 2010 → 1 notícias de eventos erosivos, 4 de galgamentos e 13 de inundações de um total de 21.

O mês de outubro foi o mais citado pela imprensa e o que apresentou maior número de notícias sobre temporais.

Durante o período em estudo os eventos distribuíram-se segundo os valores apresentados no quadro 4.4. Confirmam-se o maior número de notícias dos temporais nos invernos marítimos.

Quadro 4.4 – Distribuição dos eventos registados na imprensa, no período de 01 de outubro 2007 a 31 de dezembro 2010.

Ano	Mês	Inverno Marítimo	Número de Notícias		
			Evento Erosivo	Galgamentos	Inundações
2007	Outubro	2007/2008	0	0	13
	Novembro		0	0	8
	Dezembro		1	3	6
2008	Janeiro		1	1	7
	Fevereiro		3	13	39
	Março		1	1	1
		Nº Total de Notícias	6	18	74
	Abril	2008/2009	4	6	5
	Maio		0	0	0
	Junho		0	0	0
	Julho		0	0	0
	Agosto		1	7	0
	Setembro		0	0	13
	Outubro		0	0	9
	Novembro		0	1	1
	Dezembro		0	0	1
	Janeiro		0	0	0
	Fevereiro		0	8	8
	Março		0	0	0
		Nº Total de Notícias	0	9	19
2009	Abril	2009/2010	0	0	0
	Maio		0	0	0
	Junho		0	0	0
	Julho		0	0	0
	Agosto		0	0	0
	Setembro		0	0	0
	Outubro		0	0	16
	Novembro		0	0	9
	Dezembro		1	1	5
	Janeiro		4	6	23
	Fevereiro		7	9	4
	Março		3	6	10
		Nº Total de Notícias	15	22	67
2010	Abril		0	1	3
	Maio		0	0	1
	Junho		0	0	0
	Julho		0	0	0
	Agosto		0	0	0
	Setembro		0	0	0
	Outubro		2	11	26
	Novembro		2	0	2
	Dezembro		1	4	13

Estes eventos relatados foram condicionados por fatores tais como: ondulação forte, vento e precipitação, que podem exercer ação individualmente ou combinados, como se ilustrou com a figura 4.5.

O inverno de 2009/2010 destaca-se do restante período, pelo número de ocorrências.

A figura 4.6 mostra-nos a inventariação de outras consequências, advindas dos temporais reportados pela imprensa, e que tiveram impactes na costa de Portugal continental, onde vive ou desenvolve atividade uma grande parte da população, que deste modo sofre com a perda de vidas e bens.

Os temporais são responsáveis por prejuízos associados às atividades desenvolvidas localmente:

- Turismo/lazer: pela acentuada erosão costeira, pela destruição de apoios de praia e outras infraestruturas;
- Pesca: pescadores ficam dias e, por vezes, meses sem poderem sair para o mar; ocorre destruição dos apoios de pesca, afundamento de barcos ou sua destruição;
- Barras fechadas: que impedem a saída de embarcações, afetando o transporte de carga marítima e os navios de cruzeiros.

Recorreu-se ao programa *ArcGis* 9.3 para cartografar os eventos ocorridos na base administrativa dos concelhos do litoral de Portugal continental. As figuras 4.7 e 4.8 mostram o mapa global de ocorrências e os três mapas individuais com a espacialização dos três tipos de eventos, respetivamente. Estes mapas refletem os troços do território mais expostos e vulneráveis aos temporais no período de referência encontrando-se em consonância com o mapa de distribuição do risco ao longo do litoral de Portugal continental de Andrade *et al.* (2006).

Os troços representados a vermelho no mapa da figura 4.7, resultado da pesquisa da imprensa nacional, são idênticos aos setores que em Andrade *et al.* (2006) apresentam risco médio, alto e muito alto.

Portugal continental tem uma costa muito exposta à agitação marítima do Atlântico, sendo considerada de elevada energia. É durante os temporais que ocorrem episódios de elevada energia (eventos erosivos/galgamentos), que podem atingir uma grande magnitude. Os mapas (I), (II) e (III) apontam para ocorrências em setores da linha de costa com características de litorais arenosos, expostos e, consequentemente, mais suscetíveis.

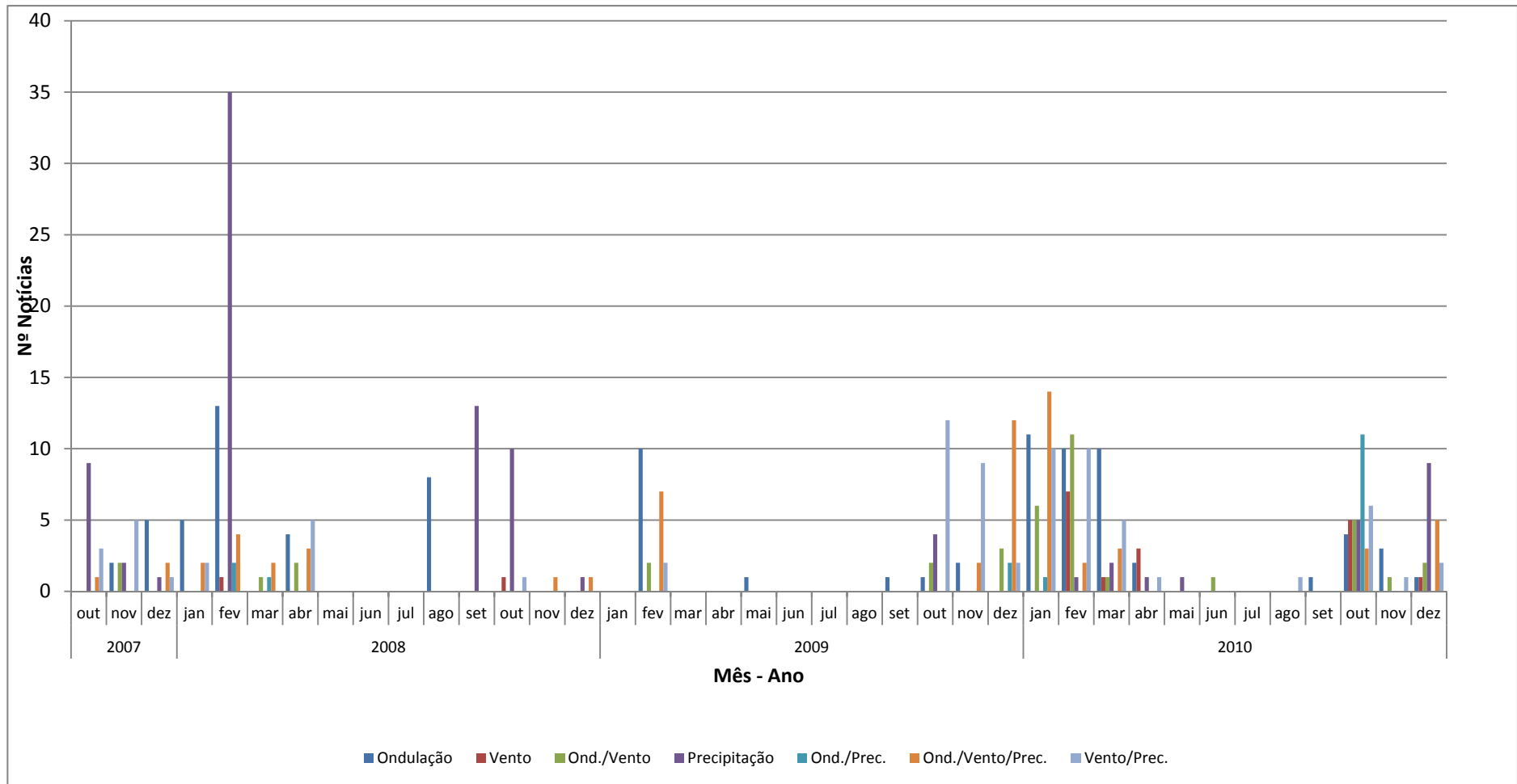


Figura 4.5 – Fatores condicionantes dos eventos ocorridos em Portugal continental registados pela imprensa nacional no período de 01 de outubro 2007 a 31 de dezembro 2010.

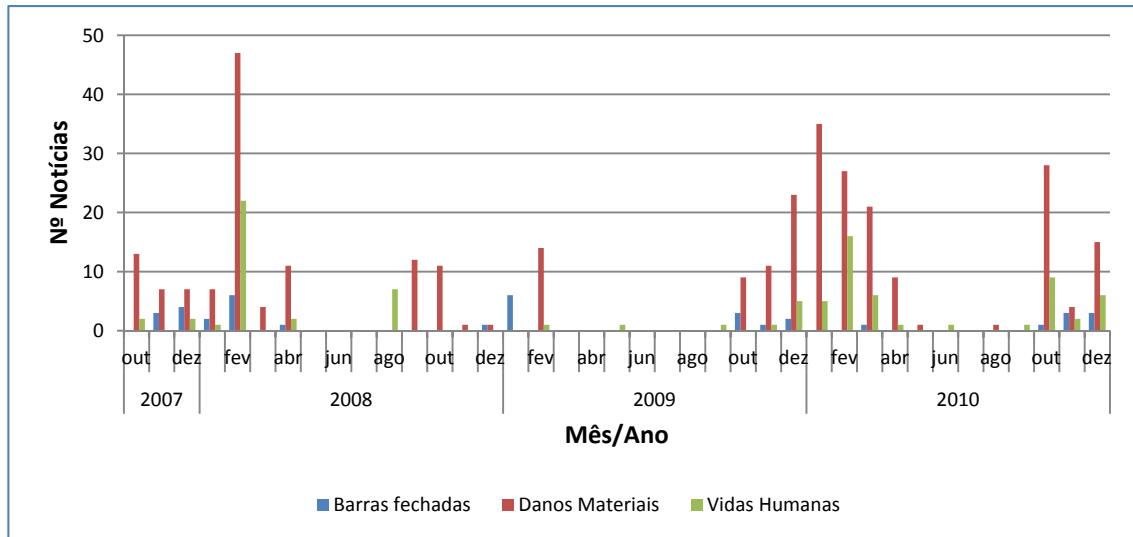


Figura 4.6 – Consequências dos eventos ocorridos em Portugal continental registados pela imprensa nacional no período de 01 de outubro 2007 a 31 de dezembro 2010.



Figura 4.7 – Concelhos Litorais com a localização dos eventos reportados pela imprensa nacional no período de 01 de outubro 2007 a 31 de dezembro 2010.

*Impactes do Storm Surge em Portugal Continental.
Do clipping da imprensa regional aos dados oceanográficos*



Figura 4.8 – Localização dos eventos reportados pela imprensa nacional: (I) Eventos erosivos, (II) Galgamentos e (III) Inundações. Período de pesquisa: 01 de outubro 2007 a 31 de dezembro 2010.

Os impactes destes eventos nas zonas estuarinas são claros e estão reportados na imprensa escrita. De notar o aumento deste número de eventos à medida que a latitude diminui, sendo tal facto relacionado com as assimetrias existentes na ocupação do território, com especial ênfase para o eixo Lisboa – Setúbal e para todo o litoral algarvio.

Dos sessenta concelhos litorais, o destaque no que diz respeito às consequências do fenómeno foi para os que têm maior densidade populacional sobretudo, e como já se referiu, no litoral meridional algarvio, devido à forte ocupação.

Neste trabalho, foram trinta e oito os concelhos afetados por estes eventos resultantes dos temporais, citados pela imprensa.

Como é sabido, o homem exerce sobre a costa uma ação direta quando: constrói edificado e grandes avenidas marginais, explora areias e pisoteia as dunas entre outras, e indireta quando emite poluentes de diversas origens e influencia a retenção de sedimentos, que servem para alimentar as praias, como a construção de barragens ou estruturas de defesa costeira que interrompem a deriva litoral, o que contribui para a fragilidade deste território.

Em especial nos litorais em erosão, a ação humana local pode assumir dois tipos: (i) obras de proteção “pesada” (esporões, diques, taludes, recifes, quebra mares destacados), com necessidades de manutenção de estruturas e com que são responsáveis pela retenção de sedimentos, transportados pelas correntes litorais, a barlar; e (ii) obras de proteção ligeira, por vezes com uma curta longevidade, tal como a alimentação artificial das areias das praias e dunas e reabilitação do coberto vegetal.

As obras de defesa costeira têm como objetivo uma prevenção sustentável do litoral contra o avanço do mar.

4.3. Dados da imprensa escrita versus clima de agitação marítima

A fiabilidade das notícias reportadas pela imprensa foi avaliada e para esse efeito selecionaram-se três temporais de maior magnitude que afetaram regiões distintas e com diferente duração:

- um temporal de grande duração que abrangeu toda a costa de Portugal continental;
- um temporal que, embora houvesse registos da sua ocorrência em toda a costa, o maior número de notícias referiu-se a uma região;

- um temporal de curta duração que abrangeu todo o litoral.

Para cada um deles fez-se a caracterização do clima de agitação marítima e da circulação sinótica, recorrendo à informação cedida pelo IH e pelo IPMA.

Assim:

Entre 22-28/02 e 01-09/03/2010 → correspondeu ao temporal de grande duração, num total de dezasseis dias. Ocorreu no inverno e afetou toda a costa de Portugal continental, os seus impactes no território reportados pela imprensa já foram analisados anteriormente.

A situação de mau tempo que decorreu neste período, caracterizou-se pela passagem sucessiva de depressões muito cavadas (967-984hPa) a que se associaram superfícies frontais com trajetória a norte da península Ibérica (golfo da Gasconha) ou sobre a Península, que se ilustra com as figuras 4.9, 4.10 e 4.11.

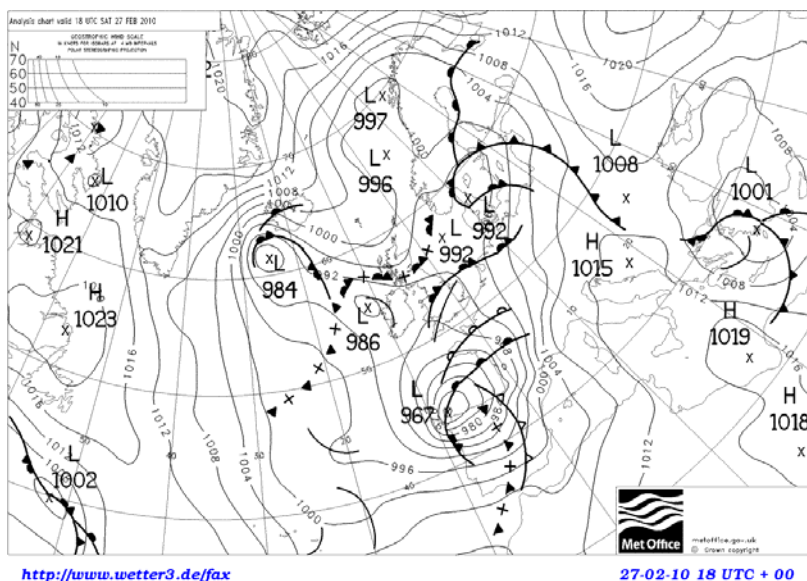


Figura 4.9 – Carta superfície às 18 UTC do dia 27 de fevereiro de 2010, reduzida ao nível do mar.

Fonte: www.wetter3.de.

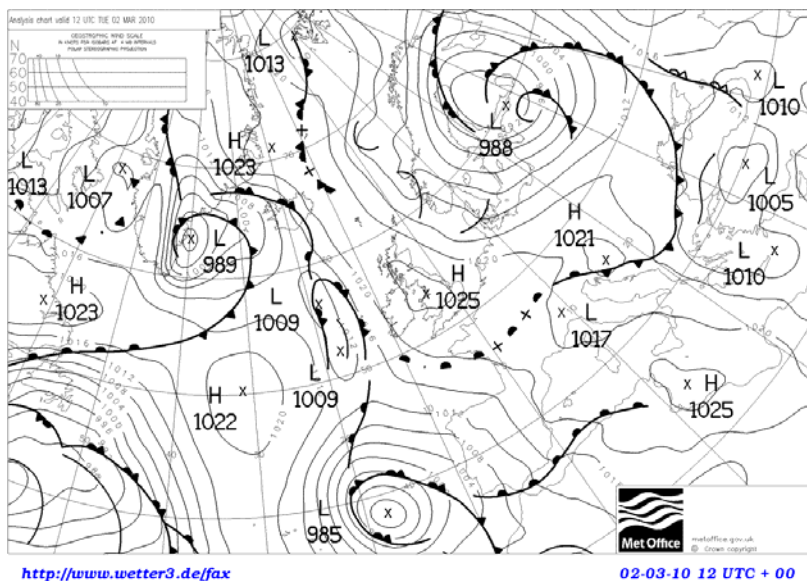


Figura 4.10 – Carta superfície às 12 UTC do dia 02 de março de 2010, reduzida ao nível do mar.

Fonte: www.wetter3.de.

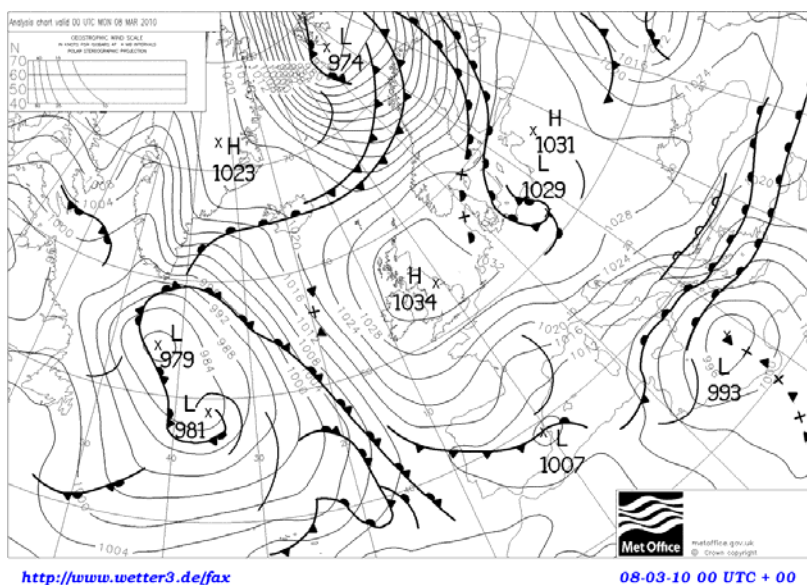


Figura 4.11 – Carta superfície às 00 UTC do dia 08 de março de 2010, reduzida ao nível do mar.

Fonte: www.wetter3.de.

Neste período, a trajetória dos fluxos evoluiu de oeste para sudoeste.

As figuras 4.12, 4.13 e 4.14 dão indicações sobre o clima de agitação marítima com dados das bóias ondógrafo de Leixões, Sines e Faro respetivamente. De salientar as lacunas que existem nos registos das bóias, nomeadamente em Sines e Faro. Tratou-se de um Mar de Oeste (Ds) na costa ocidental que a meio do temporal rodou para SW, em especial na metade sul da costa ocidental e se traduziu em Mar de SW no litoral meridional.

Leixões

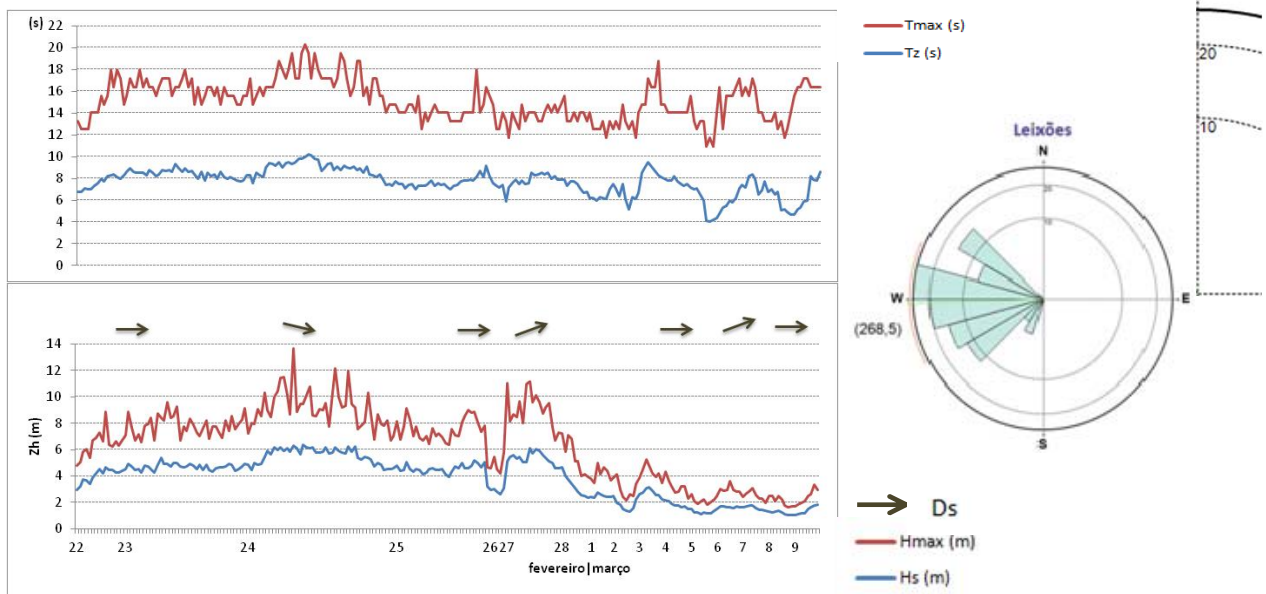


Figura 4.12 – Caraterização do clima de agitação marítima com dados da bóia ondógrafo de Leixões, para o temporal de 22-28/02 e 01-09/03/2010, reportado pela imprensa.

Sines

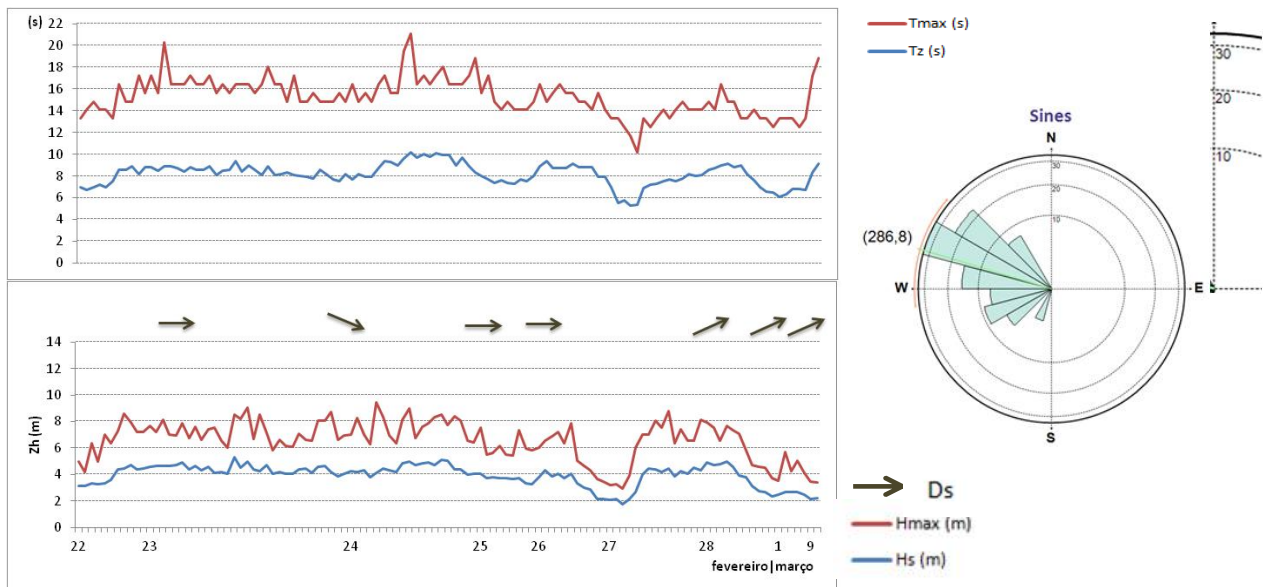


Figura 4.13 – Caraterização do clima de agitação marítima com dados da bóia ondógrafo de Sines, para o temporal de 22-28/02 e 01-09/03/2010, reportado pela imprensa.

Faro

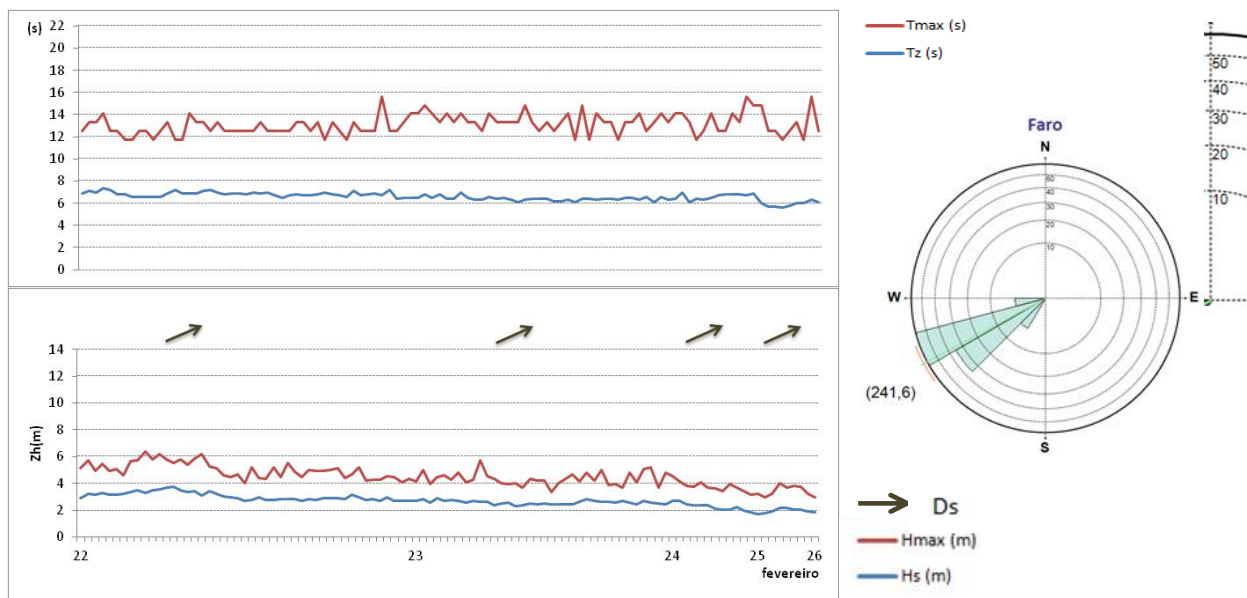


Figura 4.14 – Caraterização do clima de agitação marítima com dados da bóia ondógrafo de Faro, para o temporal de 22-28/02 e 01-09/03/2010, reportado pela imprensa.

Na costa oeste registaram-se H_s máximas de 13,67m (Leixões, dia 24/02) com, T_z de 9,5s e T_{max} de 17,2s e 9,43m (Sines, dia 24/02) com, T_z de 8,7s e T_{max} de 16,4s. A direção média associada ao período de pico foi oeste (W). Na costa sul registaram-se H_s máximas de 6,36m (Faro, dia 22/02) com, T_z de 6,6s e T_{max} de 12,5s e a direção média associada ao período de pico foi de sudoeste (SW).

Entre 16-18/02/2010 → correspondeu ao temporal com ocorrências centradas numa região, num total de duração de três dias. Este temporal ocorreu no inverno e afetou toda a costa de Portugal continental, dando a imprensa ênfase à costa algarvia e por esse motivo se escolheu para tipificar um temporal que afeta uma região.

A situação de mau tempo, caracterizou-se por uma depressão estacionária durante dois dias centrada a oeste de Sines, que migrou para sudoeste configurando-se como uma gota de ar frio centrada a sul do Algarve, que se ilustra com as figuras 4.15 e 4.16.

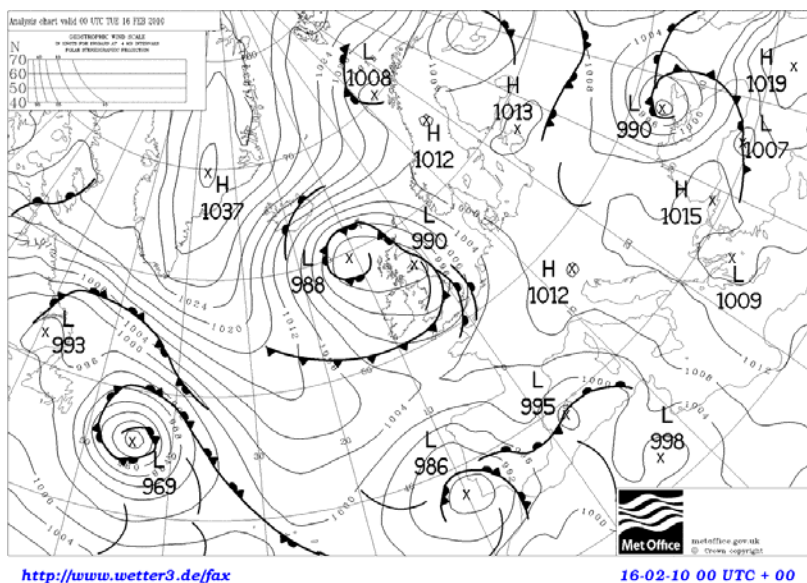


Figura 4.15 – Carta superfície às 00 UTC do dia 16 de fevereiro de 2010, reduzida ao nível do mar.

Fonte: www.wetter3.de.

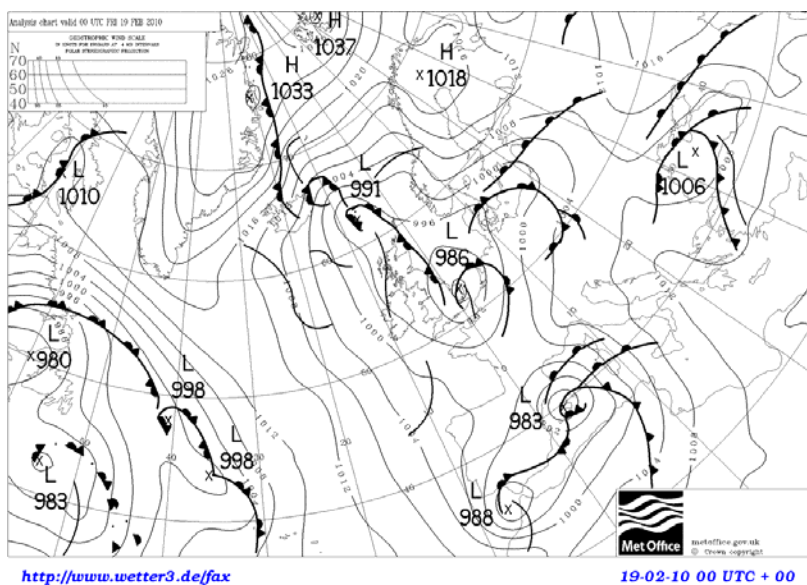


Figura 4.16 – Carta superfície às 00 UTC do dia 19 de fevereiro de 2010, reduzida ao nível do mar.

Fonte: www.wetter3.de.

As figuras 4.17, 4.18 e 4.19 ilustram o clima de agitação marítima com dados das bóias ondógrafo de Leixões, Sines e Faro respetivamente. Na costa ocidental dominou o Mar de Oeste e na costa meridional o Mar de SW, que rodou depois para Mar de Sueste ou Levante.

Na costa oeste registaram-se H_s máximas de 5,57m (Leixões, dia 18/02) com, T_z de 9,2s e T_{max} de 17,2s e 7,5m (Sines, dia 16/02) com, T_z de 9,6s e T_{max} de 18,8s. A direção média associada ao período de pico foi W. Na costa sul registaram-se H_s máximas de 7,48m (Faro, dia 16/02) com, T_z de 7,2s e T_{max} de 14,1s e a direção média associada ao período de pico foi SW.

A situação sinótica e os dados de agitação marítima mostram-nos que este temporal se manifestou essencialmente no sul da costa ocidental e na costa algarvia.

Leixões

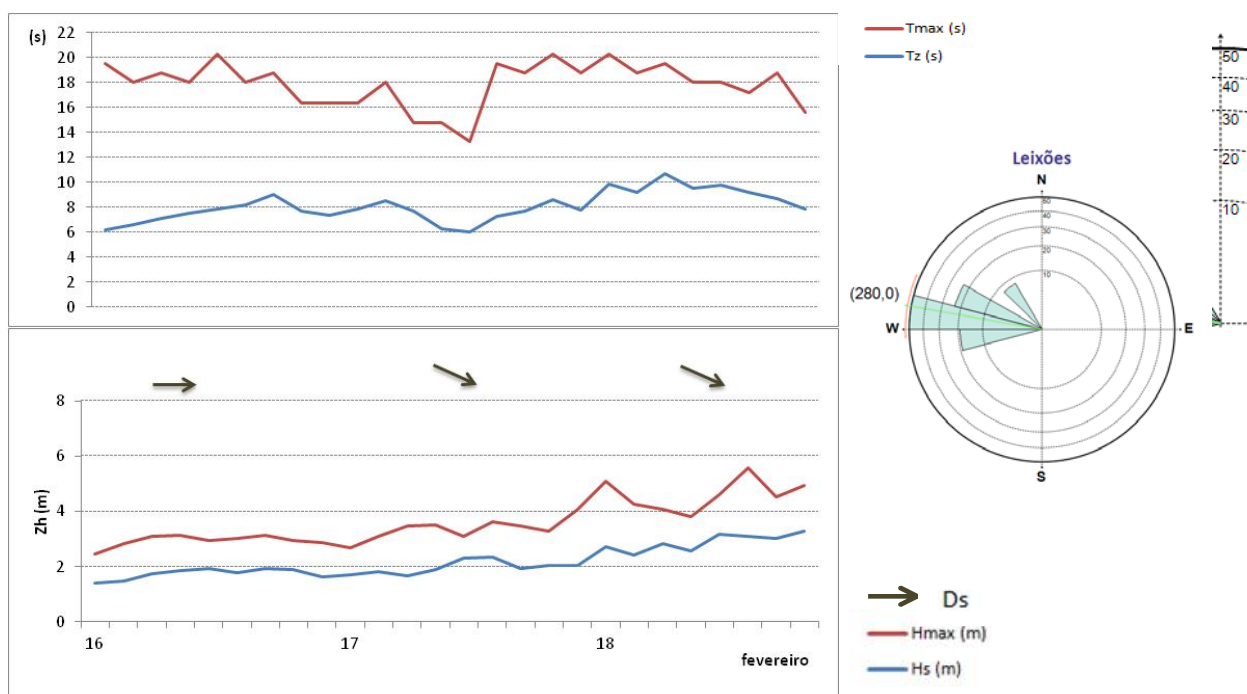


Figura 4.17 – Caraterização do clima de agitação marítima com dados da bóia ondógrafo de Leixões, para o temporal de 16-18/02/2010, reportado pela imprensa.

Sines

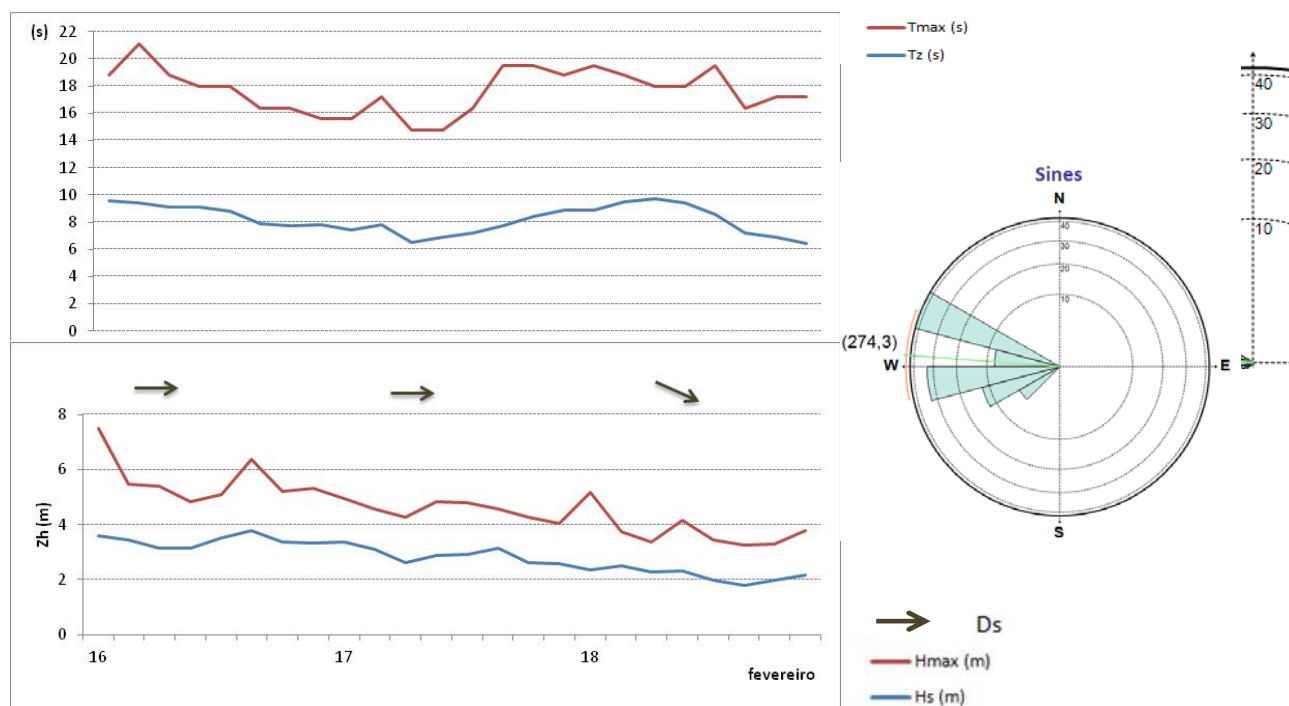


Figura 4.18 – Caraterização do clima de agitação marítima com dados da bóia ondógrafo de Sines, para o temporal de 16-18/02/2010, reportado pela imprensa.

Faro

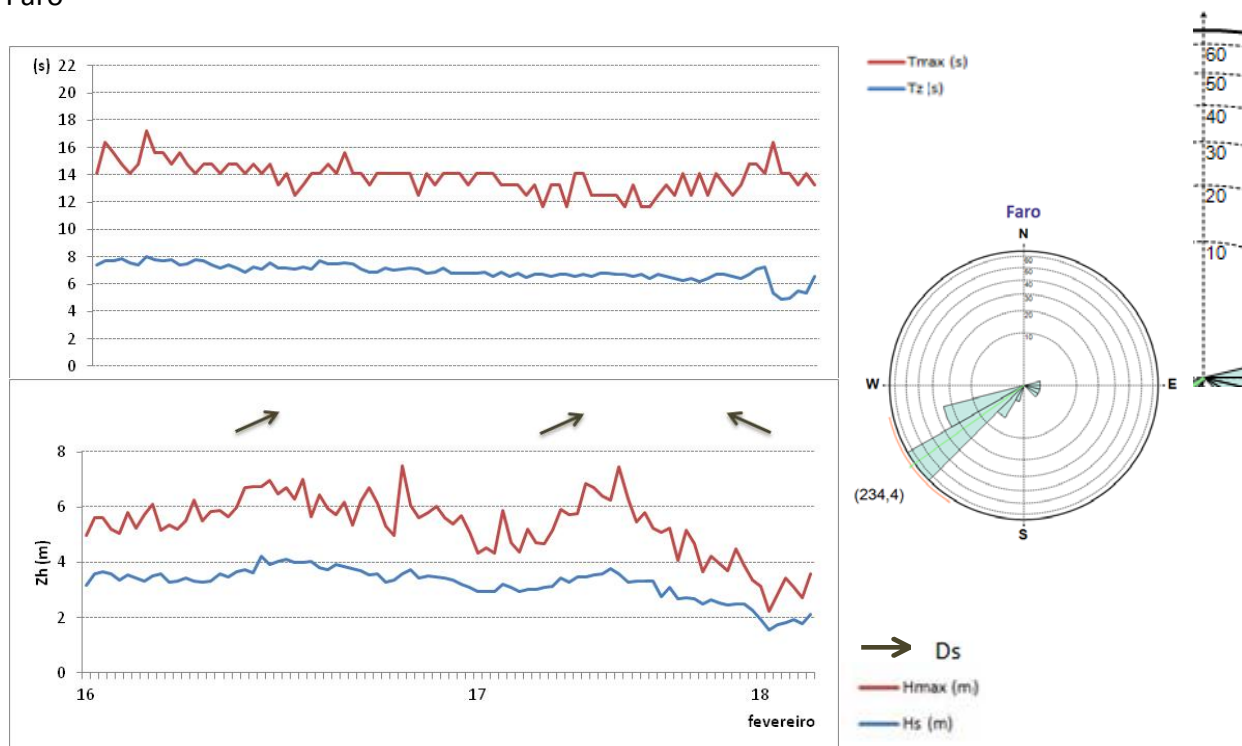
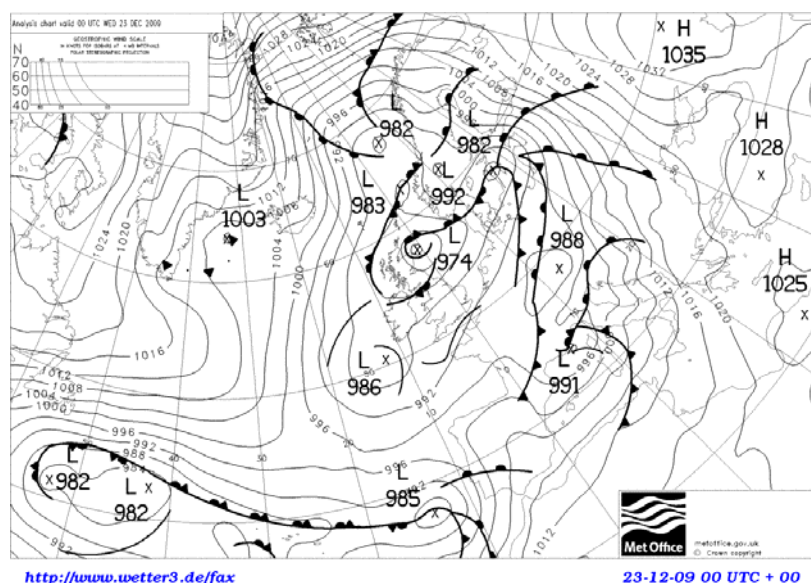


Figura 4.19 – Caraterização do clima de agitação marítima com dados da bóia ondógrafo de Faro, para o temporal de 16-18/02/2010, reportado pela imprensa.

Entre 23-24/12/2009 → correspondeu ao temporal de curta duração, num total de duração de dois dias. Ocorreu no inverno marítimo e afetou toda a costa de Portugal continental. Apesar da curta duração, os seus impactes fizeram-se sentir em todo o território litoral.

A situação de mau tempo que decorreu neste período, caracterizou-se por uma depressão a que se associaram sistemas frontais complexos com uma trajetória de sudoeste para nordeste que se ilustra com a figura 4.20.



e os dados de agitação marítima mostraram-se muito relevantes e confirmaram a exatidão das notícias reportadas pela imprensa.

Leixões

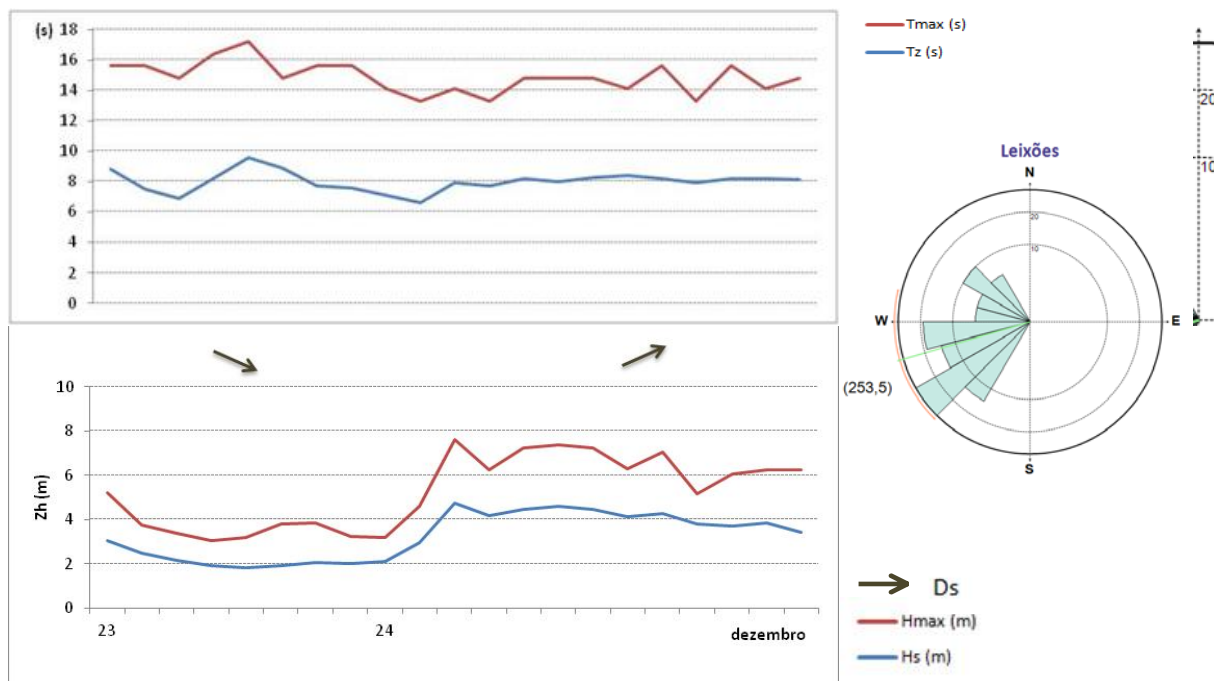


Figura 4.21 – Caraterização do clima de agitação marítima com dados da bóia ondógrafo de Leixões, para o temporal de 23-24/12/2009, reportado pela imprensa.

Faro

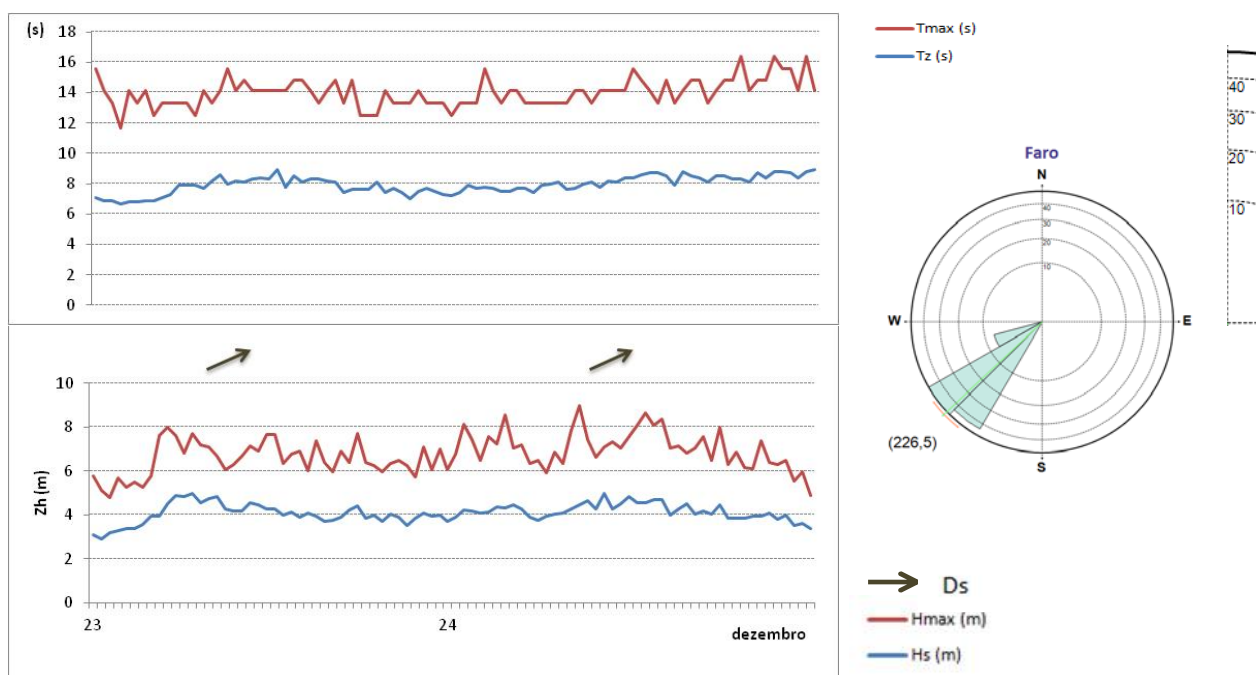


Figura 4.22 – Caraterização do clima de agitação marítima com dados da bóia ondógrafo de Faro, para o temporal de 23-24/12/2009, reportado pela imprensa.

Capítulo 5. O *storm surge* nas séries maregráficas

5.1. Identificação do fenómeno

No período em estudo, contabilizaram-se todos os registos horários de sobrelevação, para cada uma das cinco estações maregráficas. Da análise do quadro 3.4, Viana do Castelo foi a estação que apresentou menor número de lacunas (162), seguindo-se Sines (791), Cascais (1208) e Leixões (1724). A estação maregráfica de Lagos apresentou 426 lacunas num período mais reduzido, como citado anteriormente.

Para cada estação maregráfica, fez-se a análise percentílica segundo Gama *et al.* (1996) e definiram-se três classes de sobrelevações: S. significativas; S. muito significativas e S. altamente significativas, considerando os níveis como referências anuais, em virtude da série estudada ter uma curta duração (três anos e três meses). O quadro 5.1 apresenta os resultados obtidos dos três níveis de sobrelevações assim como as S. máximas e mínimas, expressas em metros (m), registadas em cada estação maregráfica no período de outubro de 2007 a dezembro de 2010 (Lagos: junho/dezembro de 2009).

Quadro 5.1 – Níveis de sobrelevações (S.) significativa, muito significativa, altamente significativa e S. máximas e mínimas, expressas em metros (m), registadas nas estações maregráficas estudadas, no período de outubro de 2007 a dezembro de 2010 (Lagos: junho/dezembro de 2009).

	Marégrafos				
	V.Castelo	Leixões	Cascais	Sines	Lagos
S. significativa	0,45	0,41	0,37	0,37	0,26
S. muito significativa	0,65	0,58	0,51	0,48	0,45
S. altamente significativa	0,79	0,71	0,62	0,58	0,55
S. máxima registada	1,05	0,97	0,77	0,66	0,63
S. mínima registada	-0,18	-0,15	-0,30	-0,03	-0,33

Da análise do quadro e tendo em conta as lacunas (quadro 3.4), retemos que para as quatro estações maregráficas da costa ocidental:

- Viana do Castelo registou uma S. máxima de 1,05m no dia 27/02/2010 às 17h e uma S. mínima de – 0,18m no dia 04/03/2008 às 22 e 23h.
- Leixões registou uma S. máxima de 0,97m no dia 24/12/2009 às 07h, que coincidiu com a preia-mar, e uma S. mínima de – 0,15m no dia 04/03/2008 às 09h.
- Cascais registou uma S. máxima de 0,77m no dia 27/02/2010 às 11h e uma S. mínima de – 0,30m no dia 11/03/2008 às 07h.

- Sines registou uma S. máxima de 0,66m no dia 27/02/2010 às 13h e uma S. mínima de - 0,03m no dia 20/12/2008 às 10h.

Na costa meridional, Lagos, nos seis meses considerados, registou o valor máximo de sobrelevação de 0,63m no dia 24/12/2009, às 12h, e o valor mínimo de sobrelevação de - 0,33m no dia 21/08/2009, às 15h.

O gráfico da figura 5.1 representa as SNMOM calculadas para o período em estudo e os três níveis de sobrelevações: S. significativas; S. muito significativas e S. altamente significativas, assim como o índice da Oscilação do Atlântico Norte (NAO), por forma a podemos interpretar melhor os resultados em virtude de nos ser facultada uma visão de conjunto.

Pela observação dos gráficos, verificou-se que em todos os mareógrafos ocorrem SNMOM, cujos valores variam dependendo da magnitude dos eventos. Os valores da SNMOM tendem a diminuir em latitude, como já se referiu anteriormente.

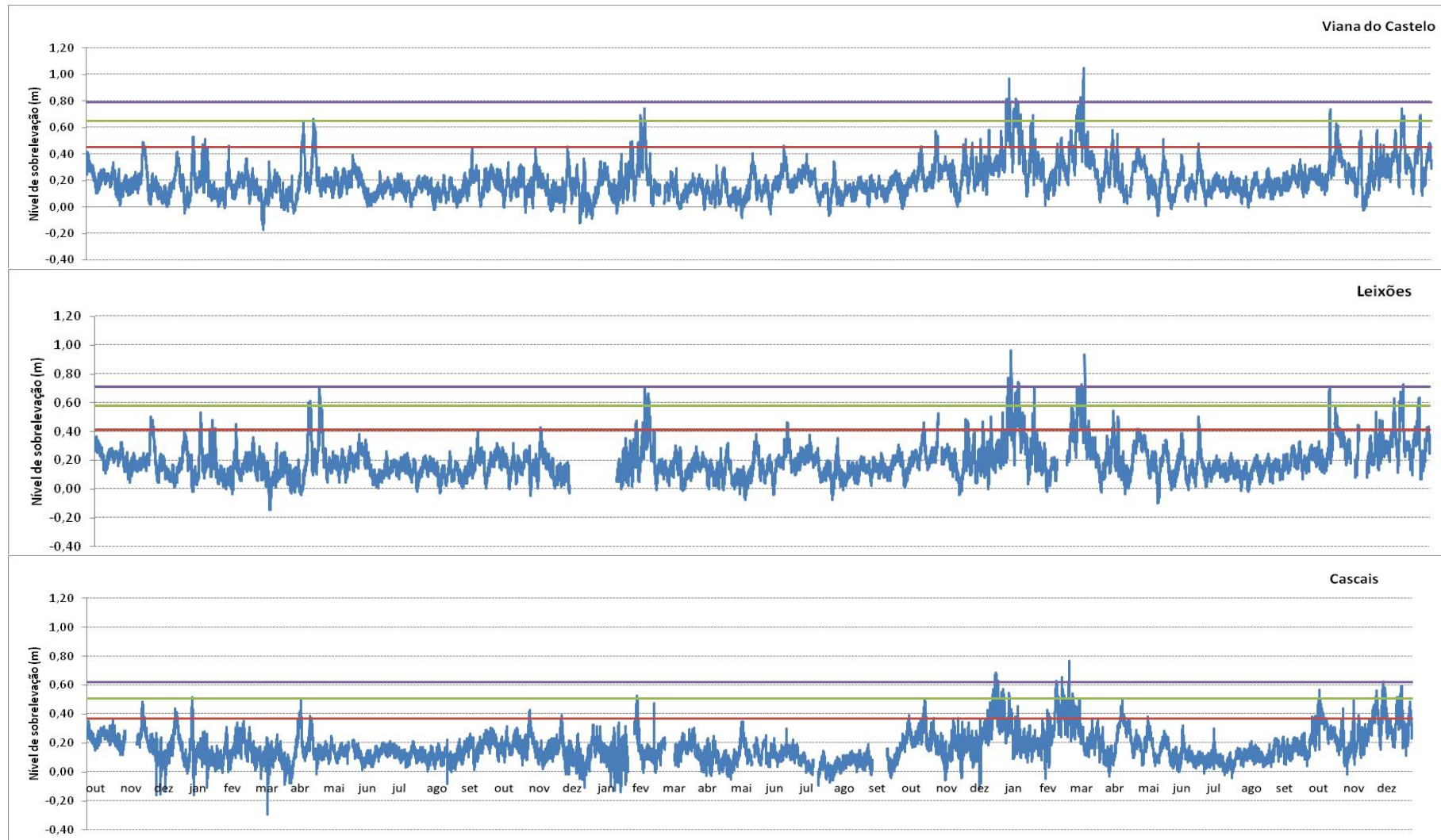
Ao identificar-se o fenómeno, ocorreram duas situações distintas, alheias ao nosso trabalho, embora possam estar relacionadas:

- Na análise dos dados mareográficos, houve períodos onde havia indicação da ocorrência de SNMOM, mas quando se fazia o estudo do clima de agitação marítima, observava-se a existência de lacunas nos registos das bóias ondógrafo, para os referidos períodos;
- Ao contrário, também casos houve, em que o clima de agitação marítima indicava situações de temporal, em que não se conseguiram avaliar as SNMOM devido às lacunas dos dados mareográficos no respeitante às marés observadas.

Deste modo houve situações de SNMOM que não se conseguiram identificar e validar. Por vezes, foi nas alturas em que ocorrem temporais ou após a sua ocorrência que há problemas, de diversa ordem, com os registos sejam eles mareográficos ou relativos à agitação marítima, existindo um grande número de lacunas.

Dos sessenta e quatro registos de eventos reportados pela imprensa e sintetizados no quadro 4.2, trinta e três estão reportados nos dados mareográficos. Da análise dos resíduos retira-se que nem todos os eventos se classificaram de igual modo, havendo eventos mais recorrentes que se consideraram S. significativas (acima do percentil 95). As S. muito significativas e altamente significativas ocorreram nos períodos de inverno marítimo que se analisaram a seguir (fig. 5.1).

*Impactes do Storm Surge em Portugal Continental.
Do clipping da imprensa regional aos dados oceanográficos*



Impactes do Storm Surge em Portugal Continental.
Da clipping da imprensa regional aos dados oceanográficos

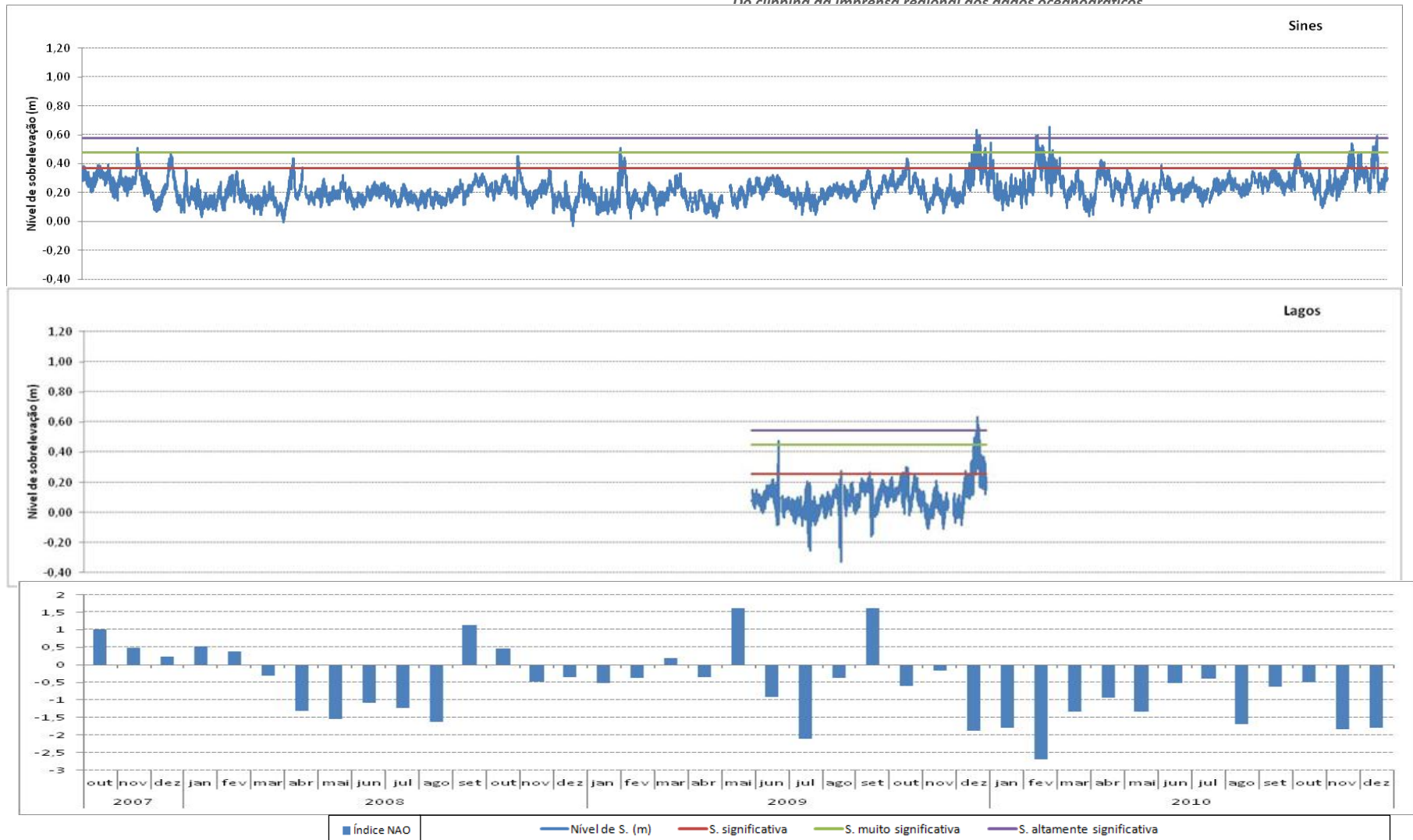


Figura 5.1 – Representação gráfica dos níveis de SNMOM e S. significativa, muito significativa, altamente significativa, registadas nas estações maregráficas de V. do Castelo, Leixões, Cascais e Sines no período de outubro de 2007 a dezembro de 2010. Lagos: junho/dezembro de 2009. Índice NAO no período estudado.

Adiante, também se faz referência à influência da NAO na circulação geral da atmosfera e como se relaciona com as SNMOM.

O período de estudo abrangeu três invernos marítimos, a saber, 2007/2008, 2008/2009 e 2009/2010. Os meses de outubro a dezembro de 2010 foram tratados isoladamente.

A avaliação do clima de agitação marítima é essencial no estudo da SNMOM e na caracterização dos episódios.

O inverno marítimo de 2007/2008: caracterizou-se, em toda a costa portuguesa, por períodos de ocorrência de temporais com H_s superior a 8m em Leixões e 5m em Faro. Os rumos da ondulação foram predominantemente de NW na costa ocidental e na costa meridional de SW e SE. O quadro 5.2 mostra-nos os valores máximos de SNMOM obtidos com base nos dados maregráficos tratados para o inverno marítimo de 2007/2008.

Quadro 5.2 – Valores máximos de SNOM (m) obtidos no inverno marítimo de 2007/2008, para cada estação maregráfica.

Inverno marítimo 2007/2008			
Marégrafo	Máximo de SNMOM (m)	Data da ocorrência	Maré
Viana do Castelo	0,53	03-01-2008	Baixa-mar
Leixões	0,53	03-01-2008	
Cascais	0,52	03-01-2008	Preia-mar
Sines	0,51	20-11-2007	Baixa-mar

O inverno marítimo de 2008/2009: o clima de agitação marítima, em toda a costa portuguesa, apresentou períodos de ocorrência de temporais, tendo-se registado nas bóias ondógrafo, H_s superiores a 8m em Leixões, 6m em Sines e 4m em Faro. Os rumos da ondulação são predominantes de NW na costa ocidental e na costa meridional de SW. O quadro 5.3 mostra-nos os valores máximos de SNMOM obtidos com base nos dados maregráficos tratados para o inverno marítimo de 2008/2009.

Quadro 5.3 – Valores máximos de SNOM (m) obtidos no inverno marítimo de 2008/2009, para cada estação maregráfica.

Inverno marítimo 2008/2009			
Marégrafo	Máximo de SNMOM (m)	Data da ocorrência	Maré
Viana do Castelo	0,75	04-02-2009	Baixa-mar
Leixões	0,71	01-02-2009	
Cascais	0,53	05-02-2009	Baixa-mar
Sines	0,51	01-02-2009	

O inverno marítimo de 2009/2010: o clima de agitação marítima, em toda a costa portuguesa, apresentou períodos de ocorrência de temporais, em que se registaram nas bóias ondógrafo, H_s superiores a 7m em Leixões, 6m em Sines e 4m em Faro. Os rumos da ondulação são predominantes de NW na costa ocidental e na costa meridional de SW. O quadro 5.4 mostra-nos os valores máximos de SNMOM obtidos com base nos dados maregráficos tratados para o inverno marítimo de 2009/2010.

Quadro 5.4 – Valores máximos de SNOM (m) obtidos no inverno marítimo de 2009/2010, para cada estação maregráfica.

Inverno marítimo 2009/2010			
Marégrafo	Máximo de SNMOM (m)	Data da ocorrência	Maré
Viana do Castelo	1,05	27-02-2010	Preia-mar
Leixões	0,97	24-12-2009	
Cascais	0,77	27-02-2010	
Sines	0,66	27-02-2010	
Lagos *	0,63	24-12-2009	

* Os dados maregráficos de Lagos, no inverno marítimo de 2009/2010, referem-se apenas aos meses de outubro a dezembro de 2009.

Os meses de outubro a dezembro de 2010: o clima de agitação marítima, em toda a costa portuguesa, apresentou períodos de ocorrência de temporais, com registos nas bóias ondógrafo, H_s superiores a 8m em Leixões, 6m em Sines e 4m em Faro. Os rumos da ondulação são predominantes de NW na costa ocidental e na costa meridional de SW. O quadro 5.5 mostra-nos os valores máximos de SNMOM obtidos com base nos dados maregráficos tratados para os meses de outubro a dezembro de 2010.

Quadro 5.5 – Valores máximos de SNOM (m) obtidos nos meses de outubro a dezembro de 2010, para cada estação maregráfica.

outubro-dezembro/2010			
Marégrafo	Máximo de SNMOM (m)	Data da ocorrência	Maré
Viana do Castelo	0,75	06-12-2010	Preia-mar
Leixões	0,73	30-12-2010	
Cascais	0,62	05-12-2010	
Sines	0,59	22-12-2010	

Desta análise pode concluir-se que foi no inverno marítimo de 2009/2010 que se registaram os valores mais elevados de SNMOM que se podem associar ao comportamento da Oscilação do Atlântico Norte, como se verá no ponto seguinte.

5.2. Oscilação do Atlântico Norte

A Oscilação do Atlântico Norte (NAO) influencia o tempo da Europa ocidental, onde se inclui Portugal continental, nomeadamente na temperatura à superfície, vento e precipitação e, consequentemente o clima de agitação marítima.

Inicialmente definida por Walker (1924), o índice NAO é a diferença de pressão à superfície normalizada medida entre os Açores (zona de altas pressões subtropicais - Anticiclone dos Açores) e a Islândia (zona de baixas pressões - depressões subpolares; Miranda *et al.*, 2006), Este índice relacionado com a precipitação e intensidade do vento de oeste no Atlântico Norte, é o que melhor representa os padrões de circulação atmosférica na bacia do Atlântico Norte.

Quando o centro de altas pressões subtropical está mais forte e a depressão da Islândia mais cavada, há um maior gradiente barométrico, forçando a circulação depressionária para trajetórias acima dos 40°N. O índice da NAO é positivo e pode originar temporais de NW. Por sua vez, um índice negativo está relacionado com um enfraquecimento do anticiclone dos Açores e da depressão subpolar da Islândia, que tendem a migrar mais para sudoeste, baixando em latitude, fazendo com que a Península Ibérica esteja mais próxima do centro dos núcleos depressionários, o que propicia a passagem sucessiva de frentes, que se pode traduzir pela elevada frequência de eventos de SW e W sobre o território.

Segundo Semedo (2005), citado por Trindade (2010), o índice NAO, ao sintetizar os padrões de circulação atmosférica no Atlântico, espelha indiretamente o regime das ondas de geração longínqua que atingem a costa ocidental de Portugal continental (Pires, 1989, Ramos-Pereira, 2001, 1992a, 1991).

A figura 5.1 dá-nos a indicação do comportamento do índice NAO com a SNMOM. Variam em sentidos opostos, isto é, quando o índice NAO é positivo, o valor da SNMOM diminui e os índices negativos da NAO influenciam significativamente a SNMOM que apresenta valores superiores, resultados que vêm ao encontro dos encontrados por outros autores.

Philips e Crisp (2010), mostram uma forte correlação ($R^2=86\%$) entre as variações do nível do mar e o Índice de Oscilação do Atlântico Norte. Nos quinze anos em estudo (1993/2007), constataram que os elevados índices negativos da NAO influenciam significativamente as máximas sobrelevações do nível do mar registadas.

Observando os gráficos da figura 5.1, pode assumir-se que numa NAO positiva, como foi o caso do Inverno marítimo de 2007/2008, ocorram poucos eventos de sobrelevação significativa, nos marégrafos da costa ocidental ao contrário do que ocorre quando a NAO é negativa (Inverno marítimo de 2009/2010).

A descida em latitude dos núcleos depressionários subpolares incrementa a SNMOM, sendo importante a previsão desta oscilação de pressão para que se possam tomar decisões de ordenamento que evitem situações como as ocorridas em 2009/2010, onde os prejuízos provocados por galgamentos oceânicos foram enormes, principalmente, no litoral centro e sul.

5.3. SNMOM versus imprensa

Neste ponto fez-se um confronto entre as SNMOM obtidas através dos dados maregráficos, para os cinco marégrafos e os eventos referentes a situações de temporais referidos na imprensa nacional, no período de 01 de outubro 2007 a 31 de dezembro 2010.

Selecionaram os três temporais analisados no ponto 4.3, e no mesmo período temporal estudaram-se as SNMOM. Atendendo a que o fenómeno pode ter ocorrido dias antes de ser citado pela imprensa, teve-se o cuidado de se antecipar o período de estudo dos dados maregráficos.

Relembrem-se as datas dos temporais de maior magnitude que afetaram regiões distintas e com diferente duração, reportados pela imprensa nacional:

22-28/02 e 01-09/03/2010 → (duração de dezasseis dias)

16-18/02/2010 → (duração de três dias)

23-24/12/2009 → (duração de dois dias)

A figura 5.2 representa graficamente as marés observadas, marés previstas, níveis de SNMOM e S. significativa, muito significativa, altamente significativa, registadas nas estações maregráficas de V. do Castelo, Leixões, Cascais e Sines, nos meses de fevereiro e março de 2010. Nestes gráficos estão representados os períodos respeitantes aos dois primeiros temporais. A sua análise mostra claramente a existência de SNMOM.

→ O temporal de maior duração, estudado no capítulo 4, 22-28/02 e 01-09/03/2010 (dezasseis dias), quando projetado para as séries maregráficas, tem uma duração superior, tendo início a 22-28/02 e terminando a 01-09/03/2010 (dezoito dias).

O quadro 5.6 apresenta os valores máximos de SNMOM (m) obtidos nas estações maregráficas e valores mínimos da pressão atmosférica ao nível do mar (hPa), intensidade (kmh^{-1}) e direção (*quadrante) do vento, nas estações meteorológicas para este período.

Há coincidência do dia (27 de fevereiro) em que se registaram valores máximos de SNMOM e os valores mínimos da pressão atmosférica ao nível do mar.

Na costa ocidental, é a norte que se registam os valores mais elevados de SNMOM: os dados maregráficos de Viana do Castelo permitiram obter 1,05m de SNMOM e em Leixões obteve-se 0,94m. Também foi nas estações meteorológicas de Viana do Castelo/Chafé e do Porto/Pedras Rubras onde se registaram os valores mínimos da pressão atmosférica ao nível do mar, respetivamente 973,6 hPa e 975,3 hPa.

A inexistência de registos maregráficos não permitiu calcular os valores de SNMOM na costa algarvia com já foi referido anteriormente. Porém ao cruzarem-se os dados do clima de agitação marítima, meteorológicos, análise de cartas de superfície com os dados reportados pela imprensa nacional, poder-se-á afirmar que neste período de tempo, em toda a costa de Portugal continental estiveram reunidas as condições para a ocorrência de fenómenos de SNMOM.

Quadro 5.6 – Valores máximos de SNOM (m) obtidos nas estações maregráficas e valores mínimos da pressão atmosférica ao nível do mar (hPa), intensidade (kmh^{-1}) e direção (*quadrante) do vento, nas estações meteorológicas, no período de 20 de fevereiro a 09 de março de 2010.

1º Temporal (20 de fevereiro a 09 de março de 2010)							
Marégrafo	SNMOM (m)	Dia	Estações M./ID	Pressão (hPa)	Int.V (kmh^{-1})	Dir.V*	Dia
V. Castelo	1,05	27	V Castelo/551	973,6	90,7	5	27
Leixões	0,94	27	Porto /545	975,3	104,8	4	27
Cascais	0,77	27	Lisboa/579	984,0	96,1	4	27
Sines	0,66	27	Sines/541	988,0	88,6	5	27
			Sagres/533	991,3	86,0	5	27
			Faro/554	993,7	82,8	6	27

→ O temporal de 16-18/02/2010 (duração de três dias), reportado pela imprensa, nas séries maregráficas, tem também uma duração superior, 14-18/02/2010 (cinco dias).

No quadro 5.7 apresentam-se os valores máximos de SNMOM (m) obtidos nas estações maregráficas e valores mínimos da pressão atmosférica ao nível do mar (hPa), intensidade (kmh^{-1}) e direção (*quadrante) do vento, nas estações meteorológicas para o referido período.

No dia 16 de fevereiro registaram-se os valores máximos de SNMOM e os valores mínimos da pressão atmosférica ao nível do mar.

Na costa ocidental, os valores mais elevados de SNMOM, obtiveram-se em Cascais (0,63m) e Sines (0,60m). Nas estações meteorológicas de Lisboa/Gago Coutinho e Sines/Monte Chãos registaram-se os valores mínimos da pressão atmosférica ao nível do mar, respetivamente 985,6 hPa e 985,4 hPa.

A inexistência de registos maregráficos não permitiu calcular os valores de SNMOM na costa algarvia. A imprensa deu ênfase à costa algarvia embora houvesse referências a toda a costa de Portugal continental, e por esse motivo se escolheu para tipificar um temporal que afeta uma região.

Da análise dos dados do clima de agitação marítima, meteorológicos, análise de cartas de superfície, poder-se-á afirmar que nestas datas, em toda a costa de Portugal continental estiveram reunidas as condições para a ocorrência de fenómenos de SNMOM.

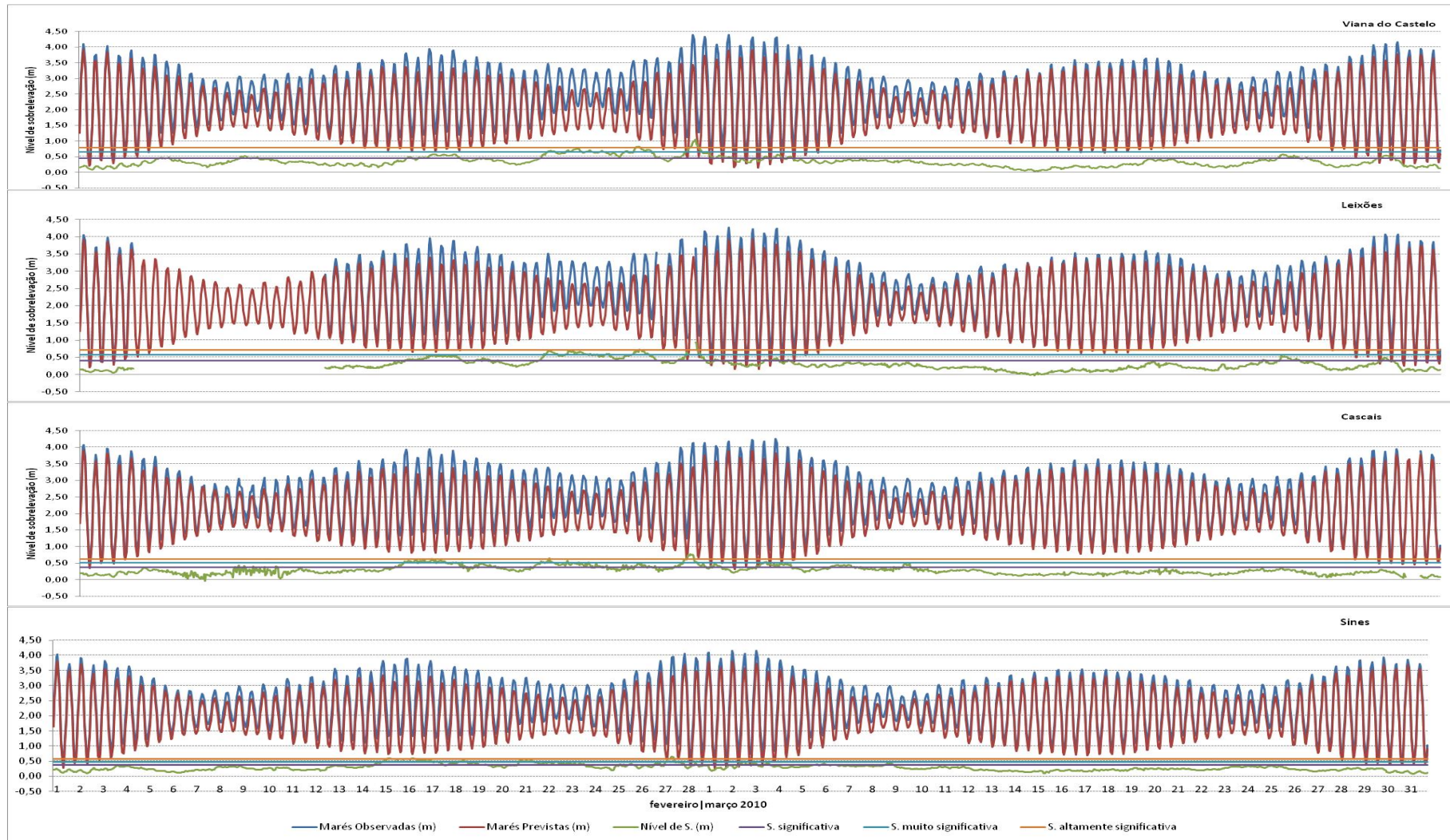
Quadro 5.7 – Valores máximos de SNOM (m) obtidos nas estações maregráficas e valores mínimos da pressão atmosférica ao nível do mar (hPa), intensidade (kmh^{-1}) e direção (*quadrante) do vento, nas estações meteorológicas, no período de 14 a 18 de fevereiro de 2010.

2º Temporal (14 a 18 de fevereiro de 2010)							
Marégrafo	SNMOM (m)	Dia	Estações M./ID	Pressão (hPa)	Int.V (kmh^{-1})	Dir.V*	Dia
V. Castelo	0,58	16	V.Castelo/551	986,5	23,4	8	16
Leixões	0,57	16	Porto /545	986,5	36,0	2	16
Cascais	0,63	16	Lisboa/579	985,6	31,3	1	16
Sines	0,60	16	Sines/541	985,4	57,6	6	16
			Sagres/533	986,2	64,8	6	16
			Faro/554	986,8	65,5	5	15/16

Figura 5.2 – Representação gráfica das marés observadas, marés previstas, níveis de SNMOM e S. significativa, muito significativa, altamente significativa, registadas nas estações maregráficas de V. do Castelo, Leixões, Cascais e Sines, nos meses de fevereiro e março de 2010.

(página seguinte)

*Impactes do Storm Surge em Portugal Continental.
Do clipping da imprensa regional aos dados oceanográficos*



A figura 5.3 representa graficamente as marés observadas, marés previstas, níveis de SNMOM e S. significativa, muito significativa, altamente significativa, registadas nas estações maregráficas de V. do Castelo, Leixões, Cascais e Sines, no mês de dezembro de 2009.

→ O temporal de 23-24/02/2009 (dois dias), reportado pela imprensa, nas séries maregráficas, tem uma duração de cinco dias, 20-26/12/2009.

O quadro 5.8 apresenta os valores máximos de SNMOM (m) obtidos nas estações maregráficas e valores mínimos da pressão atmosférica ao nível do mar (hPa), intensidade (kmh^{-1}) e direção (*quadrante) do vento, nas estações meteorológicas para este período.

Nos dias 23 e 24 registaram-se os valores máximos de SNMOM e os valores mínimos da pressão atmosférica ao nível do mar.

Na costa ocidental, é a norte que se registam os valores mais elevados de SNMOM: os dados maregráficos de Viana do Castelo permitiram obter 0,97m de SNMOM e em Leixões obteve-se 0,97m. Em Cascais obtiveram-se 0,69m, em Sines 0,64m e em Faro 0,63m de SNMOM. Note-se que nas estações maregráficas de Viana do Castelo, Leixões e Sines, os valores máximos de SNMOM ocorreram com a maré em preia-mar, o que incrementa significativamente a perigosidade do fenómeno na costa de Portugal continental.

Nas estações meteorológicas de Viana do Castelo/Chafé e do Porto/Pedras Rubras onde se registaram os valores mínimos da pressão atmosférica ao nível do mar, respetivamente 975,9 hPa e 977,4 hPa.

Quadro 5.8 – Valores máximos de SNOM (m) obtidos nas estações maregráficas e valores mínimos da pressão atmosférica ao nível do mar (hPa), intensidade (kmh^{-1}) e direção (*quadrante) do vento, nas estações meteorológicas, no período de 20 a 26 de dezembro de 2009.

3º Temporal (20 a 26 de dezembro de 2009)								
Marégrafo	SNMOM (m)	Dia	Maré	Estações M./ID	Pressão (hPa)	Int.V (kmh^{-1})	Dir.V*	Dia
V. Castelo	0,97	24	Preia-mar	V.Castelo/551	975,9	69,1	4	24
Leixões	0,97	24	Preia-mar	Porto /545	977,4	76,3	4	24
Cascais	0,69	24		Lisboa/579	983,2	82,4	5	23
Sines	0,64	23	Preia-mar	Sines/541	987,0	92,9	4	23
Lagos	0,63	24		Sagres/533	989,4	91,4	5	24
				Faro/554	981,2	96,1	4	23



Figura 5.3 – Representação gráfica das marés observadas, marés previstas, níveis de SNMOM e S. significativa, muito significativa, altamente significativa, registadas nas estações maregráficas de V. do Castelo, Leixões, Cascais, Sines e Lagos, no mês de dezembro de 2009.

Do cruzamento dos diferentes dados (maregráficos, agitação marítima, meteorológicos e as notícias da imprensa), provenientes de fontes diversas, verificou-se que, nos períodos estudados, ocorreram fenómenos de SNMOM na costa ocidental e meridional de Portugal continental, relacionados com a ocorrência de temporais.

5.4. Análise e comparação dos resultados

Neste ponto serão confrontados os resultados obtidos, no período de outubro de 2007 a dezembro de 2010, com os de outros autores.

Os quadros 5.2, 5.3, 5.4 e 5.5 mostram-nos os valores máximos de SNMOM obtidos com base nos dados maregráficos tratados para os invernos marítimos de 2007/2008, 2008/2009, 2009/2010 e os meses de outubro a dezembro de 2010 respetivamente. Da sua análise ressaltam os meses de Dezembro de 2009, Fevereiro de 2010 e Dezembro de 2010, em que se obtiveram valores máximos de SNMOM, em todos os marégrafos:

- Viana do Castelo registou uma S. máxima de 1,05m no dia 27/02/2010 às 17h.
- Leixões registou uma S. máxima de 0,97m no dia 24/12/2009 às 07h, que coincidiu com a preia-mar.
- Cascais registou uma S. máxima de 0,77m no dia 27/02/2010 às 11h.
- Sines registou uma S. máxima de 0,66m no dia 27/02/2010 às 13h.
- Na costa meridional, Lagos, nos seis meses considerados, registou o valor máximo de sobrelevação de 0,63m no dia 24/12/2009 às 12h.

Os valores de SNMOM vão ao encontro dos valores obtidos por outros autores:

Taborda e Dias (1992), caracterizaram as SNMOM com base nos registos horários de oito estações maregráficas, (Viana do Castelo, Leixões, Aveiro, Cascais, Lisboa, Troia, Sines e Lagos), entre os dias 1 fevereiro e 31 março de 1978 e 16 dezembro 1981 e 14 janeiro 1982. Para os temporais considerados pelos autores, os níveis máximos de SNMOM obtidos foram:

- Viana do Castelo: uma S. máxima de 0,92m no dia 26/02/1978.
- Leixões: uma S. máxima de 0,48m no dia 23/02/1978 e 0,87m no dia 30/12/1981.
- Aveiro: uma S. máxima de 1,17m no dia 30/12/1981.
- Cascais: uma S. máxima de 0,42m no dia 23/02/1978 e 0,52m no dia 30/12/1981.
- Lisboa: uma S. máxima de 0,56m no dia 26/02/1978 e 0,95m no dia 30/12/1981.

- Tróia: uma S. máxima de 1,05m no dia 30/12/1981.
- Sines: uma S. máxima de 0,51m no dia 26/02/1978 e 0,49 no dia 30/12/1981.
- Lagos: uma S. máxima de 0,44m no dia 24/02/1978 e 0,42m no dia 30/12/1981.

Para o temporal de 1978, as estações maregráficas de Aveiro e Tróia apresentam lacunas e no horizonte temporal de dezembro 1981/janeiro 1982, apenas Viana do Castelo tem lacunas de registos.

Gama (1996), num estudo de dados de sete estações maregráficas, no período de maio de 1986 a junho de 1988, obteve SNMOM máximas:

- Viana do Castelo: uma S. máxima de 1,10m no dia 15/10/1987.
- Aveiro: uma S. máxima de 0,78m no dia 15/10/1987.
- Cascais: uma S. máxima de 0,52m no dia 03/12/1987.
- Lisboa: uma S. máxima de 0,48m no dia 13/12/1987.
- Tróia: uma S. máxima de 0,51m no dia 29/01/1987.
- Sines: uma S. máxima de 0,47m no dia 03/12/1987.
- Lagos: uma S. máxima de 0,75m no dia 08/12/1987.

Andrade *et al.* (2006), apresentaram os valores máximos de SNMOM, num período de dados disponíveis para quatro marégrafos:

- Viana do Castelo registou uma S. máxima de 1,07m no dia 17/02/1986, no período 1978/1996.
- Leixões registou uma S. máxima de 0,93m no dia 30/12/1981 no período 1956/1985.
- Cascais registou uma S. máxima de 0,46m no dia 02/02/1998 no período 1987/2000.
- Lagos registou uma S. máxima de 0,52m no dia 08/12/1988 no período 1986/2000.

Para o marégrafo de Cascais, Antunes (2010) num estudo dos meses de dezembro de 2009 e fevereiro de 2010, registou uma sobrelevação média mensal de 0,313m para o mês de Dezembro de 2009, sendo que a sobrelevação máxima ocorrida neste período foi de 0,72m, no dia 23 de Dezembro de 2009 às 03h. Na mesma estação maregráfica, a sobrelevação média mensal por nós obtida foi de 0,31m, e a sobrelevação máxima ocorrida neste período foi de 0,69m, no dia 24 de Dezembro de 2009 às 00h. A diferença verificada nas sobrelevações extremas deve-se às diferentes metodologias usadas, nomeadamente, aos dados das marés harmónicas registadas, visto que este autor as determinou através de modelos numéricos e, posteriormente, os corrigiu para remover o efeito barométrico inverso sobre o nível do mar.

A 27 de Fevereiro de 2010 às 11h, obteve-se uma sobrelevação de 0,77m, enquanto a sobrelevação média mensal deste mês foi de 0.33m, valor idêntico ao observado por Antunes (2010).

Tal como Antunes (2010), as sobrelevações do nível do mar de origem meteorológica ocorreram, no Inverno de 2009-2010, o que revelou a severidade deste Inverno.

Desta breve exposição, retém-se que os valores máximos de SNMOM apresentados por outros autores e para outros intervalos temporais, utilizando metodologias diferentes, estão em consonância com os valores obtidos nesta investigação. Os valores máximos de SNMOM registaram-se durante os meses do inverno marítimo, sendo dezembro e fevereiro os meses coincidentes em todos os estudos.

Considerações finais

O estudo da SNMOM é frequentemente tratado no mundo científico, como comprova a bibliografia consultada.

Neste trabalho estudou-se o fenómeno na costa portuguesa e seus impactes no território no período compreendido entre Outubro de 2007 e Dezembro de 2010, em várias vertentes:

A importância socioeconómica do fenómeno tratou-se através da pesquisa sistemática e inventariação da ocorrência de temporais reportadas pela comunicação social nacional, *clipping* da imprensa nacional e regional, escrita em suporte de papel (jornais e revistas) e digital (internet). Atendendo à forma muito genérica como estas ocorrências foram relatadas propôs-se uma classificação e caracterização: eventos erosivos, galgamentos oceânicos e inundações, utilizando-se designações reportadas pela imprensa.

Da inventariação e informação obtida, construiu-se um quadro síntese dos temporais e fez-se uma análise espacial do impacto dos mesmos. Como resultado obteve-se o padrão de progressão espacial do temporal reportado pela imprensa.

Os eventos ocorridos foram cartografados sobre a base administrativa dos concelhos do litoral de Portugal continental e desta cartografia resultaram mapas onde são explícitos os troços da costa onde ocorreram temporais e que coincidem com os concelhos com maior densidade populacional.

A fiabilidade dos dados reportados pela imprensa avaliou-se com a seleção de três temporais de maior magnitude que afetaram regiões distintas e com diferente duração e para cada um deles caracterizou-se o clima de agitação marítima e a circulação sinótica.

Quando ocorrem SNMOM verifica-se erosão costeira por galgamentos oceânicos, inundações de zonas ribeirinhas, danos em infraestruturas localizadas na costa e, inclusive, perdas de vidas humanas.

Conclui-se que a imprensa desempenha um papel relevante no conhecimento generalizado das situações de temporal que ocorrem ou ocorreram em particular no litoral, assumindo-se como fonte de informação expedita e sistemática.

A dinâmica espaço-temporal da frequência e da magnitude do fenómeno em Portugal continental fez-se com base em dados maregráficos de Viana do Castelo, Leixões, Cascais,

Sines, do período em estudo e Lagos apenas no período de junho de 2009 a dezembro de 2009. Estes, apesar do elevado número de lacunas, indicam-nos a existência do fenómeno de SNMOM, da ordem de 1m ou mais, na costa portuguesa, atingindo valores superiores na costa norte (Viana do Castelo registou 1,05m no dia 27/02/2010) e diminuindo em latitude, onde os valores não excedem os 0,80m (Cascais registou 0,77m no dia 27/02/2010).

Para cada estação maregráfica, contabilizando-se todos os registos, utilizaram-se as três classes de sobrelevações definidas em Gama *et al.* (1996): S. significativas, S. muito significativas e S. altamente significativas.

Dos resultados obtidos concluiu-se que a SNMOM é um fenómeno mais frequente durante o inverno marítimo, relacionando-se com o comportamento da NAO, índice que melhor representa os padrões de circulação atmosférica na bacia do Atlântico Norte e que neste estudo se repercutiu no inverno marítimo de 2008/2009. Este inverno foi, de todos, aquele em que se registaram mais eventos extremos relacionados com o clima de agitação marítima e circulação atmosférica na bacia do Atlântico Norte que originaram por vezes fenómenos de SNMOM.

As situações sinóticas associadas a depressões cavadas, a passagem de frentes e a ocorrência de precipitação forte são mais propícias à SNMOM.

Neste trabalho, os Mares de Oeste e Sudoeste foram os principais responsáveis pela existência de temporais que nos três casos originaram fenómenos de SNMOM.

As datas da ocorrência dos três temporais estudados coincidiram com as datas dos eventos do fenómeno de SNMOM.

A SNMOM quando ocorrida, essencialmente, em situações de preia-mar de águas vivas amplifica o risco associado ao fenómeno, como se verificou através da análise das notícias recolhidas, provocando inundações e galgamentos oceânicos nas áreas mais baixas e com fraco declive. Os troços litorais com estas características são particularmente suscetível aos elementos forçadores, pois são em geral constituídos por materiais finos, facilmente removíveis pelo mar. Este facto remete-nos para a importância do ordenamento do território no litoral, à semelhança do que se faz em muitos países.

Para futuros trabalhos é indispensável a criação de bases de dados – clima de agitação marítima, maregráficos, meteorológicos – mais alargadas, para uma perspetiva mais ampla da dimensão do fenómeno na costa portuguesa.

É fundamental, a monitorização do fenómeno na costa portuguesa para se estabelecer cotas máximas de galgamentos e inundações, de modo a melhorar a sua prevenção e minimizar os riscos associados ao fenómeno em estudo.

Referências bibliográficas citadas:

- Andrade, C.; Oliveira Pires, H.; Silva, P.; Taborda, R.; Freitas, M. C. (2006) – Zonas Costeiras in Santos, F. D.; Miranda, P. (eds), Alterações climáticas em Portugal. Cenários, impactos e medidas de adaptação. Projeto SIAM II. Gradiva, (4):169-208.
- Andrade, C.; Taborda, R.; Marques, F.; Freitas, M. C.; Antunes, C.; Mendes, T.; Carreira, D. (2008) – Alterações climáticas no município de Sintra. Zonas Costeiras in Plano Estratégico do concelho de Sintra face às Alterações Climáticas. 62p..
- Antunes, C.; Taborda, R. (2009) – *Sea level at Cascais tide gauge: data, analysis and results. Journal of Coastal Research, SI 56 (Proceedings of the 10th International Coastal Symposium), 218-222. Lisbon, Portugal.*
- Antunes, C. (2010) – Monitorização da variação do Nível Médio do Mar. 1.as Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Instituto Hidrográfico, 21-22 de Junho de 2010, 4p..
- Carter, R. W. G. (1991) – *Coastal Environments – An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines*. Academic Press Harcourt Brace Jovanovich Publishers, London, 2 edition, 611 p..
- Carvalho, F. (1999) – Simulação Numérica da Sobreelevação do Nível do Mar de Origem Meteorológica. Departamento de Física. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Church, J. A.; White, N. J. (2006) – *A 20th century acceleration in global sea-level rise. Geophysical Research Letters*, 33: 4p..
- Coles, S. G.; Tawn, J. A., (1990) - *Statistics of coastal flood prevention. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* 332,457 – 476.
- Costa M.; Silva R.; Vitorino J. (1994) – Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa portuguesa, Instituto Hidrográfico, Lisboa, 20p..
- Daveau, S.; Almeida, G.; Feio, M.; Rebelo, F.; Moreira da Silva, R.; Sobrinho, A. (1978) – Os temporais de Fevereiro/Março de 1978, *Finisterra*, XIII (26), CEG, Lisboa, p. 230-260.
- Dias, J. A.; Taborda, R. (1992) – *Tidal gauge data in deducing secular trends of relative sea level and crustal movements in Portugal. Journal of Coastal Research*, 8(3), p.655-659.
- Dias, J. A.; Ferreira, O.; Ramos-Pereira, A. (1994) – Estudo sintético de diagnóstico da geomorfologia e da dinâmica sedimentar dos troços costeiros entre Espinho e Nazaré. Estudos de Ambiente e Informática, LDA., Lisboa, p. 132-142.
- Dias, J. A. (2005) – Evolução da zona costeira portuguesa: forçamentos antrópicos e naturais. Revista Encontros Científicos – Turismo, Gestão e Fiscalidade. Vol. 1, Faro, p. 7-27.
- Douglas, B. C.; Peltier, W. R. (2002) – *The Puzzle of Global Sea Level Rise. Physics Today*, 35-40.
- Ebersole, B. A.; Westerink, J. J.; Bunya, S.; Dietrich, J. C.; Cialone, M. A. (2010) – *Development of storm surge which led to flooding in St. Bernard Polder during Hurricane Katrina. Ocean Engineering*, 39: 91- 103.

- Esteves R.; Sansana Silva F.; Pinto J. P. ; Costa M. (2010) – Caracterização de eventos extremos de agitação marítima em Portugal Continental, 1as Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Lisboa, Instituto Hidrográfico, 4p..
- Feio, M. (1980) – O porto de Sines: prejuízos dos temporais e reparações, *Finisterra*, XV (29), CEG, Lisboa, p.79-84.
- Ferreira, J. C. (1999) – Vulnerabilidade e Risco Biofísico em Áreas Costeiras. O Arco Litoral Caparica – Espichel. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ambiente, Universidade Lisboa.
- Fritz, H. M.; Blount, C. D.; Albusaidi, F. B.; Al-Harthy, A. H. M. (2010) – *Cyclone Gonu storm surge in Oman. Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 86: 102-106.
- Gama, C.; Dias, J. A.; Ferreira, O.; Taborda, R. (1994)- *Analysis of Storm Surge in Portugal, between June 1986 and May 1988. Proceedings of litoral*, 94, Lisboa, p.381-387.
- Gama, C. (1996) – *Caracterização do Fenómeno da Sobreelevação do Nível do Mar de Origem Meteorológica em Portugal Continental. Efeito amplificador deste fenómeno sobre as variações volumétricas de sedimentos nas praias da Comporta, S. Torpes, Odeceixe e Arrifana*. Dissertação de Mestrado em Geologia e Dinâmica Externa, Universidade de Lisboa.
- IPCC (2007) – *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 987p..
- Krestenitis, Y. M.; Androulidakis, Y. S.; Kontos, Y. N.; Georgakopoulos, G. (2010) – *Coastal inundation in the north-eastern mediterranean coastal zone due to storm surge events. Journal of Coastal Conservation*, 1- 16p..
- Lionello, P.; Galati, M. B.; Elvini, E. (2010) – *Extreme storm surge and wind wave climate scenario simulations at the Venetian littoral. Physics and Chemistry of the Earth*, 10: 1016-1023.
- Meyers, V., (1970) - *Joint probability method of tide frequency analysis applied to Atlantic City and Long, Beach Island*, N.J. ESSA Technical Memorandum WBTM HYDRO 11, Department of Commerce, Silver Spring, MD.
- Philips, M. R.; Crisp, S. (2010) – *Sea level trends and NAO influences: The Bristol Channel/ Severn Estuary. Global and Planetary Change*, 73: 211-218.
- Pires, H. O. (1979) – Condições meteorológicas na costa ocidental portuguesa na região de Sines em Dezembro de 1978 e em Fevereiro de 1979. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, policopiado, 6p. + 21 p. anexos.
- Pires, H. O. (1989) – Alguns Aspectos do Clima de Agitação Marítima de Interesse Para a Navegação na Costa de Portugal. Fascículo XXVII, Volume 2, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.
- Pugh, D. T.; Vassie, J. M., (1979) - *Extreme sea levels from tide and surge probabilities. In: Proceedings of the 16th Coastal Engineering Conference*. ASCE, New York, p. 911–930.
- Pugh, D.T. (1987) – *Tides, Surges and Mean Sea Level*. John Wiley and Sons, Chichester, 472 p..

- Ramos-Pereira, A. (2001) – O (s) oceano (s) e as suas margens. Cadernos de Educação Ambiental 5, Edição do Instituto de Inovação Educacional, Lisboa, 123..
- Ramos-Pereira, A. (2004) – O Espaço Litoral e a sua vulnerabilidade. *Geonova*, 9, Lisboa, p.33-43.
- Ramos-Pereira, A. (2008) – *Sistemas Litorais: Dinâmicas e Ordenamento*, DILIF-5, Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa.
- Ramos-Pereira, A. (2008) – Sistemas Litorais: Dinâmicas e Ordenamento, *Finisterra*, XLIII, 86: 5– 29.
- Ramos-Pereira, A.; Trindade (2011) – Um fenómeno extremo de levante em 23/2/2008. Implicação no ordenamento de praias. *Proceedings VIII Congresso da Geografia Portuguesa – Repensar a Geografia para Novos Desafios. Competências, Investigação, Acção*. IGOT/UL, Lisboa, 6p (e-book).
- Reimnitz, E.; Maurer, D. K. (1979) – *Effects of storm surges on the Beaufort Sea Coastal, Northern Alaska*. *Arctic*, 32 (4):329-344.
- Sheng, Y. P.; Zhang, Y.; Paramygin, V. A. (2010) – *Simulation of storm surge, wave and coastal inundation in the Northeastern Gulf of Mexico region during Hurricane Ivan in 2004*. *Ocean Modelling*, 35: 314-331.
- Taborda, R.; Dias, J. A. (1992) – Análise da Sobre-elevação do Nível do Mar de Origem Meteorológica durante os temporais de Fevereiro/Março de 1978 e Dezembro de 1981. *Geonovas, A Geologia e o Ambiente*, Lisboa, 1: 89-97.
- Trindade, J. (2010) - Dinâmica morfossedimentar de praias dominadas por sistemas de arriba (Peniche-Cascais). Tese de Doutoramento em Geografia, especialidade de Geografia Física, Universidade Aberta, Lisboa.
- Trindade, J.; Ramos-Pereira, A. (2010) – Determinação da susceptibilidade à inundação e   erosão em praias expostas. *Proceedings do V Congresso Nacional de Geomorfologia*, Porto, 315-319.
- Tsimplis, M. N.; Blackman, D. (1997) - *Extreme sea-level distribution and return periods in the Aegean and Ionian seas*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 44: 79–89.
- Viles, H.; Spencer, T. (1995) – *Coastal problems. Geomorphology, Ecology and Society at the Coast*. Edward Arnold, London, 350 p..
- Weisse, R.; Storch, H.; Niemeyer, H.; Knaack, H. (2012) – *Changing North Sea storm surge climate: An increasing hazard?*, *Ocean & Coastal Management*, Volume 68, 58-68, Elsevier, Germany.
- www.wetter3.de, acedido dia 28 de dezembro de 2012.

Fontes de Recolha de Dados

Tornou-se necessário recorrer a instituições com a finalidade de obtenção de dados para o período em estudo (outubro de 2007 a dezembro de 2010):

- Instituto Geográfico Português: dados das marés observadas nos marégrafos Cascais e Lagos.
- Instituto Hidrográfico:
 - Dados do clima de agitação marítima, nas estações ondógrafo de Leixões, Sines e Faro.
 - Dados das marés observadas nos marégrafos de Viana do Castelo, Leixões e Sines.
 - Dados das marés previstas nas cinco estações maregráficas.
- Instituto Português do Mar e da Atmosfera: boletins diários.
- www.wetter3.de : cartas de superfície.
- Imprensa Nacional e Regional.